Fehler und Fehlverhalten als Ursache von Verkehrsunfällen und Konsequenzen für das Unfallvermeidungspotenzial und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
(Dr. phil.)
der Universität Regensburg

vorgelegt von

Martin Gründl

Regensburg

2005

Vorwort

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Frage, wodurch Verkehrsunfälle entstehen und was man dagegen tun kann. Entsprechend lässt sie sich ein zwei große Schwerpunktbereiche unterteilen, einen Grundlagenteil und einen anwendungsorientierten Teil. Der Grundlagenteil leistet Grundlagenforschung: Es werden menschliche Fehler und Fehlverhaltensweisen analysiert, die zu einem Verkehrsunfall geführt haben, und es wird der Einfluss verschiedenster Risikofaktoren auf die Unfallwahrscheinlichkeit berechnet. Der anwendungsorientierte Teil befasst sich damit, wie Verkehrsunfälle reduziert werden können: Ein Schwerpunkt liegt dabei auf technischen Maßnahmen am Fahrzeug, nämlich Fahrerassistenzsystemen, auf die derzeit große Erwartungen gesetzt werden. Es wird untersucht, wie groß das Unfallvermeidungspotenzial dieser Systeme ist und wie man sie gestalten muss, um einen größtmöglichen Effekt für eine Unfallprävention zu erzielen. Gleichzeitig werden aber auch andere Maßnahmen (z. B. von Gesetzgeber, Polizei oder Verkehrsplanern) zu Erhöhung der Verkehrssicherheit diskutiert.

Entsprechend richtet sich diese Arbeit nicht nur etwa an Verkehrspsychologen, sondern an alle, die mit Verkehrssicherheit zu tun haben: An Ingenieure in der Automobilindustrie, die sich mit der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen befassen, an Polizisten, Politiker, Straßenbauingenieure, Verkehrsplaner, Verkehrserzieher und Fahrlehrer. Ich habe mich daher bemüht, diese Arbeit so einfach und allgemeinverständlich wie möglich zu schreiben, damit ein möglichst großer Personenkreis von den Ergebnissen profitieren kann.

An dieser Stelle möchte ich all denen danken, die zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben: Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Alf Zimmer für seine Betreuung, seinen Rat, seine Unterstützung und sein Vertrauen, das er bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt in mich gesetzt hat. Danken möchte ich ebenfalls Prof. Dr. Michael Nerlich, der die organisatorischen Rahmenbedingungen geschaffen hat, durch die mir meine Promotion ermöglicht wurde.

Ganz besonders danken möchte ich auch meinem Kollegen Hubert Schmidt, mit dem ich zwei Jahre lang das Büro geteilt habe, für die hervorragende, angenehme und freundschaftliche Zusammenarbeit. Seine herzliche, liebenswürdige und verbindliche Art wird mir in Zukunft fehlen.

Dankbar bin ich auch meinem Freund Harald Binder, der die seltene Gabe hat, Dinge von einem völlig anderen Standpunkt aus betrachten zu können, als dies der Rest der Menschheit tut. Unsere Gespräche und Diskussion insbesondere über methodische Aspekte haben mir geholfen, eigene Ansichten selbst immer wieder kritisch zu hinterfragen. Nicht zuletzt möchte ich meinem Vater für das Korrekturlesen der Arbeit danken, meiner Frau Gabriela für ihre verständnisvolle Unterstützung sowie allen, die an der Entstehung der Studie ihren Anteil hatten, aber an dieser Stelle nicht namentlich erwähnt sind.

Regensburg, im Juli 2005 *Martin Gründl*

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Derzeit sterben auf den Straßen der Bundesrepublik Deutschland durchschnittlich 18 Menschen pro Tag – bis zu 1400 Menschen werden bei Unfällen verletzt, ein Fünftel von ihnen schwer (Knauer, 2004). In den Medien werden die Zahlen der jährlichen Verkehrstoten schon beinahe als positive Nachricht verkauft, denn schließlich sind sie seit Jahren rückläufig. Im Vergleich zu Beginn der 70er Jahre (über 21 000 Tote) ist die Zahl der Verkehrstoten auf weniger als ein Drittel gesunken. Dennoch sind 6600 Tote (Zahlen im Jahr 2003) eine enorme Zahl, auch wenn dies in der Öffentlichkeit keine heftigen Reaktionen auslöst.

In der gesamten EU forderten Unfälle im Straßenverkehr pro Jahr mehr als 41 900 Menschenleben und mehr als 1.7 Millionen Verletzte (Theis et al., 2000). „Am stärksten betroffen ist die Altersklasse von 14-25 Jahren, für die Verkehrsunfälle die Todesursache Nr. 1 sind. Jeder Dritte wird im Laufe seines Lebens bei einem Unfall verletzt. Die unmittelbar messbaren Kosten von Verkehrsunfällen belaufen sich auf 45 Milliarden Euro. Die indirekten Kosten (einschließlich der körperlichen und seelischen Schäden der Opfer und ihrer Angehörigen) liegen drei- bis viermal höher. Dementsprechend wird ein Betrag von 160 Milliarden Euro jährlich angesetzt“ (Europäische Kommission, 2001, S. 76; vgl. auch Hamzaoui & Whitten, 2001). Dies entspricht zwei Prozent des Bruttosozialprodukts der Europäischen Union.

Noch weitaus drastischer erscheint das Problem, wenn man sich die weltweiten Zahlen vor Augen hält: „Bis zu 850 000 Tote und 35 Millionen Verletzte fordert der Straßenverkehr pro Jahr. Der Sachschaden liegt bei 500 Milliarden Dollar“ (Gietinger, 2003, S. 27). Dies ist das Ergebnis einer Studie von Aeron-Thomas (2000, Zahlen von 1999). Die WHO schätzt für das Jahr 2000 sogar 1.26 Millionen Tote. Gietinger (2003): „Man darf also annehmen, dass zurzeit jährlich mindestens eine Million Menschen totgefahren werden. Das sind pro Tag acht voll besetzte Jumbojets, 28-mal das Einsenbahnunglück von Eschede oder fast zweimal die *Titanic*“ (S. 27).

Unter den Verkehrsforschern besteht Einigkeit darin, dass weltweit die Unfallzahlen weiter steigen werden. So geht beispielsweise das *Heidelberger Umwelt und Prognose Institut (UPI)* von 2.5 Millionen Toten im Jahr 2030 aus. Ursache dafür ist die zunehmende Motorisierung der Dritten Welt (zit. nach Gietinger, 2003, S. 27).

Angesichts des hohen Tributs, den der Straßenverkehr fordert, ist die Reduzierung der Unfallzahlen ein vorrangiges Ziel der Verkehrspolitik. So hat sich beispielsweise die Europäische Kommission das Ziel gesetzt, die Zahl der Verkehrstoten zwischen 2000 und 2010 um die Hälfte zu verringern. Vorbild hierfür sind Programme einzelner Regierungen wie z. B. Schweden (seit 1997) mit dem Masterplan „Null Tote und null Schwerverletzte bei Straßenverkehrsunfällen“ („Vision Zero“)

(Europäische Kommission, 2001, S. 77). Ein ähnliches Ziel verfolgt die Schweizer Regierung (beides Länder, die durch ihre vorbildliche Sicherheitspolitik im Straßenverkehr ohnehin bereits positiv auffallen).

Um effektive Maßnahmen zur Reduzierung von Verkehrsunfällen ergreifen zu können, ist es jedoch notwendig, die Ursachen von Verkehrsunfällen genau zu kennen. Nach verbreiteten Schätzungen werden ca. 90 Prozent aller Verkehrsunfälle durch Fehler oder Fehlverhalten der Fahrer verursacht. Laut GIDAS-Datenbank (GIDAS = German in Depth Accident Study), einer von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik (FAT) seit 1973 geführten Datenbank, in der Verkehrsunfälle vertieft untersucht werden, sind 93.5 % der Unfallursachen auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen. Ursachen aufgrund der Fahrumgebung (Fahrbahnbeschaffenheit, Witterung) finden sich nur bei 4.6 % und technische Mängel am Fahrzeug sogar nur bei 0.7 aller Unfälle (hiervon wiederum meistens fehlerhafte, abgefahrene oder falsche Reifen; sonstige Ursachen: 1.2 %).

Umso mehr verwundert es, dass bis heute die genauen Ursachen für dieses menschliche Fehlverhalten nur schlecht untersucht sind. Zwar mangelt es nicht an umfangreichem Zahlenmaterial (z. B. der amtlichen Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes, in der alle polizeilich aufgenommenen Verkehrsunfälle erfasst sind), jedoch bleiben diese Daten zum größten Teil nur oberflächlich. Die amtliche Unfallursache „Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen“ beispielsweise sagt nichts darüber aus, *warum* ein Fahrer einem anderen Verkehrsteilnehmer nicht die Vorfahrt gewährt hat. Es handelt sich eher um eine juristische Beurteilung, nämlich welcher Fahrer gegen welchen Paragraphen der Straßenverkehrsordnung (StVO) verstoßen hat, jedoch nicht um eine Analyse der Unfallursache.

Auf der anderen Seite existiert eine Fülle von verkehrspsychologischen Erkenntnissen über die Gefährlichkeit verschiedener Verhaltensweisen oder Verkehrssituationen. Dies sind in der Regel jedoch Ergebnisse, die in Laborexperimenten, Experimenten im Fahrsimulator oder bestenfalls bei Verhaltensbeobachtungen in einem Versuchsfahrzeug gewonnen wurden. Es handelt sich stets um abgegrenzte Fragestellungen, bei denen ein bestimmter Aspekt mit einer bestimmten Methodik (experimentell) untersucht wird und sämtliche Faktoren, die bei einer normalen Fahrt mit einem Auto vorhanden sind und den Fahrer beeinflussen, als Störfaktoren ausgeschaltet oder kontrolliert werden. Als abhängige Variablen werden meistens (kleine) Fehler, Verkehrsblindzeiten (Blickabwendungsdauer und -häufigkeit) oder bestenfalls kritische Verkehrssituationen erfasst – niemals jedoch reale Unfallereignisse. Für die meisten Fragestellungen ist dieser Ansatz nicht nur sinnvoll, sondern der einzig mögliche. Um z. B. die Ergonomie und Verkehrssicherheit eines neu entwickelten Zusatzgeräts zu testen, gibt es zu oben beschriebenen Verfahren gar keine Alternative.

Wenn man jedoch Aussagen über die Entstehung von Verkehrsunfällen machen will, führt kein Weg an der Untersuchung von Verkehrsunfällen vorbei. Denn eine Fahrt im Fahrsimulator ist nun mal nicht das Gleiche wie eine reale Autofahrt, und ein einzelner Fehler führt noch lange nicht au-

tomatisch zu einem Verkehrsunfall, meist noch nicht einmal zu einer kritischen Situation. Die Analyse von Unfallereignissen bietet dagegen die Chance, Fehler in ihrem natürlichen Entstehungskontext zu untersuchen, typische Kombinationen von Fehlern und Risikofaktoren zu identifizieren und gleichzeitig herauszufinden, welche Schutz- und Kompensationsmechanismen versagt haben, so dass ein Unfall nicht mehr verhindert werden konnte. Dies sind Hauptziele der vorliegenden Untersuchung.

Das Wissen über die Häufigkeit von Unfallursachen und über den Einfluss bestimmter Risikofaktoren ermöglicht im Vergleich zu den nur sehr groben und allgemeinen Zahlen der amtlichen Unfallstatistik eine weitaus bessere Beurteilungsgrundlage für die Frage, an welcher Stelle sich zusätzliche Anstrengungen zur Unfallprävention lohnen und an welcher nicht (Nicodemus, 1995).

Die wichtigsten Handlungsfelder für Unfallprävention liegen in der Fahrzeugtechnik, in der Gesetzgebung, in der Überwachung der Einhaltung von Normen, in straßenbaulichen Maßnahmen sowie in Beeinflussungsmaßnahmen für Fahrer (Schulung, Aufklärung, Verkehrserziehung). Die Erkenntnisse aus der Analyse von Verkehrsunfällen können hier sehr konkrete Handlungsempfehlungen liefern, um die Sicherheit des Gesamtsystems Straßenverkehr zu erhöhen.

Welch enormes Potenzial zur Unfallprävention in den oben genannten Handlungsfeldern liegt, zeigt beispielsweise ein Vergleich des Risikos für einen tödlichen Verkehrsunfall in unterschiedlichen Staaten Europas, in denen Sicherheit im Straßenverkehr einen unterschiedlichen Stellenwert einnimmt: So ist das Risiko in Frankreich zweieinhalb Mal so hoch wie in Großbritannien, in Portugal sogar viereinhalb Mal so hoch wie im sehr sicheren Schweden (Europäische Kommission, 2001, S. 77).

Die Beispiele zeigen, dass die Zahl der Verkehrsunfälle und Verkehrstoten kein bloßes Schicksal, sondern sehr wohl durch gesellschaftspolitisches Handeln beeinflussbar ist. Entsprechende Maßnahmen umzusetzen ist jedoch Aufgabe der Politik; Aufgabe der Wissenschaft – in diesem Falle der Verkehrspsychologie in der Verkehrsunfallforschung – ist es, eine solide, empirisch abgesicherte Datengrundlage zu schaffen, die es ermöglicht, gezielt Schwachpunkte im System Straßenverkehr zu identifizieren, deren Ausmaß zuverlässig abzuschätzen und Handlungsempfehlungen auszusprechen, mit denen sich ein möglichst effizienter Sicherheitsgewinn für den Straßenverkehr erzielen lässt.

Ein Ziel, das äußerst sinnvoll und vielversprechend erscheint: Denn wenn Sicherheitsmaßnahmen, die aufgrund der Ergebnisse der verkehrspsychologischen Erforschung von Unfällen umgesetzt wurden, dazu führten, dass die Zahl der Verkehrstoten lediglich um einen Prozentpunkt zurückginge, würde dies bedeuten, dass weltweit jährlich rund 12 000 Menschen weniger durch Verkehrsunfälle sterben müssten (siehe oben!). So gesehen dürfte es wohl kaum einen Bereich geben, in dem sich die Psychologie für die Menschheit so nützlich machen kann, wie in der Verkehrsunfallforschung.

Die größten Hoffnungen zur Reduzierung der Verkehrsunfallopfer liegen jedoch zur Zeit nicht in den genannten herkömmlichen Instrumenten der Unfallprävention, sondern in einer verbesserten Sicherheitstechnik für Fahrzeuge. Das Stichwort lautet: „Unfallvermeidendes Automobil". Es ist die Vision eines intelligenten, mitdenkenden Fahrzeugs, das in der Lage ist, kritische Situationen zu erkennen, den Fahrer mit sicherheitsrelevanten Informationen zu versorgen, ihn vor drohenden Gefahren zu warnen und im Notfall sogar selbständig in Fahrgeschehen einzugreifen, um so z. B. einen Fehler des Fahrers zu korrigieren und dadurch einen Unfall noch im letzten Moment zu verhindern.

Erreicht werden soll dies durch sogenannte Fahrerassistenzsysteme. Ihre Palette reicht vom bereits heute weit verbreiteten Navigationssystem, das den Fahrer von seiner Navigationsaufgabe entlastet, über Systeme, die die Sicht des Fahrers erweitern (Kurvenlicht, Nachtsichtsystem), seine Aufmerksamkeit überwachen (Müdigkeitskontrolle), die Querführung des Autos überwachen (Spurhalteassistent, Spurwechselassistent), vor Auffahrunfällen warnen (Abstandsregel-Tempomat) oder im Notfall eine Vollbremsung einleiten (Automatische Notbremse).

Damit solche Assistenzsysteme ihren Nutzen optimal entfalten können, ist es Voraussetzung, sie für solche Situationen auszulegen, für die sie gedacht sind, nämlich für die Situation unmittelbar vor einem drohenden Unfall (= Pre-Crash-Phase). Hier sind Erkenntnisse aus der Analyse von Verkehrsunfällen von großem Wert: Durch die Befragung der Fahrer und die technische Unfallrekonstruktion kann herausgefunden werden, wie es überhaupt zu der kritischen Situation kam, welche Informationen der Fahrer wahrgenommen hat bzw. welche notwendigen Informationen ihm entgangen sind, wie er auf diese Informationen reagiert hat, welche Fehler ihm dabei unterlaufen sind, wie schnell er reagiert hat oder wie situationsangemessen seine Reaktion war (z. B. Panikreaktionen wie Verreißen des Lenkrads).

Die genaue Kenntnis all dessen ist Voraussetzung, um Fahrerassistenzsysteme nicht nur für den Alltagsbetrieb in einer gewöhnlichen Fahrsituation, in der dem Fahrer durch zahlreiche Zusatzfunktionen das Fahren angenehmer und komfortabler gestaltet wird, auszulegen, sondern tatsächlich auch für die seltene Notsituation. Durch die Analyse von Verkehrsunfällen können zudem typische Kombinationen von Fehlern oder Risikofaktoren identifiziert werden, die bestimmten Unfallarten – und damit dem Eingreifen bestimmter Assistenzsysteme – häufig vorausgehen. Das Wissen um die Begleitumstände bestimmter Unfallarten hilft einerseits, das Unfallvermeidungspotenzial dieser Systeme zu optimieren; andererseits schärft es aber auch den Blick für mögliche Probleme, die sich aus dem Einsatz dieser neuen Technik ergeben: So lassen sich beispielsweise typische Situationen identifizieren, in denen es besser ist, bestimmte Assistenzfunktionen nicht oder in anderer Form zur Verfügung zu stellen.

Eine umfassende Analyse aller an der Unfallentstehung beteiligter Faktoren – von der Fahrumwelt, über das Fahrzeug, bis hin zum Verhalten des Fahrers – ermöglicht es zudem, das Unfallvermeidungspotenzial einzelner Fahrerassistenzsysteme realistisch einzuschätzen. Dadurch lässt sich

besser beurteilen, bei welchen Systemen sich vom Standpunkt der Unfallprävention die Investition von Entwicklungsanstrengungen mehr lohnt und bei welchen weniger.

Neben einer umfassenden, soliden Grundlagenforschung zur Ursache von Verkehrsunfällen und daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen für Entscheidungsträger in Gesetzgebung, bei Polizei und Behörden sind daher weitere wesentliche Ziele dieser Arbeit, das Unfallvermeidungspotenzial von Fahrerassistenzsystemen realistisch abzuschätzen und auf der Grundlage der erhobenen Unfalldaten konkrete Vorschläge für die Gestaltung dieser Systeme zu entwickeln.

In der verkehrspsychologischen Analyse von Verkehrsunfällen steckt ein enormes Potenzial zur Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr, das bisher praktisch kaum genutzt wurde. Bleibt zu hoffen, dass die Erkenntnisse dieser Forschung auch in der Praxis umgesetzt werden.

1.2 Ziele der Untersuchung

Die Zielsetzungen der vorliegenden Arbeit sind folgende:

- Eine große und für die Gesamtzahl aller schwereren Unfälle repräsentative Anzahl von Verkehrsunfällen soll eingehend hinsichtlich ihrer Entstehungsursachen untersucht werden. Für die Analyse werden sämtliche verfügbaren Daten (einschließlich technischer Unfall-Rekonstruktion und Merkmalen der Fahrumwelt) mit einbezogen, um den Unfall ganzheitlich in seinem Entstehungskontext von Mensch, Fahrzeug und Umwelt zu betrachten.
- Die verunfallten Fahrer sollen detailliert mit Hilfe eines standardisierten Interviews zum Unfallhergang befragt werden. Ihr Verhalten in den letzten Sekunden vor dem Unfall wird einer Fehleranalyse unterzogen und aufgetretene Fehler anhand von zwei verschiedenen Fehlermodellen („Modell der internalen Fehlfunktion“ nach Rasmussen [1982] und „Modell der gefährdenden Verhaltensweisen“ nach Reason [1990]) klassifiziert.
- Der Einfluss verschiedener Verhaltensweisen, Ereignisse oder Eigenschaften auf das Unfallrisiko soll durch Verursacheranalysen untersucht werden. Hierzu soll ein Relatives Risiko berechnet werden, das die Zunahme der Wahrscheinlichkeit einer Unfallverursachung unter der Bedingung, einem bestimmten Risikofaktor exponiert zu sein, ausdrückt. Dadurch kann das Risiko unterschiedlicher Einflussfaktoren quantitativ bestimmt und miteinander verglichen werden.
- Anhand der verschiedenen Unfallarten, Unfallursachen und zum Unfallzeitpunkt wirkenden Risikofaktoren soll das Potenzial mehrerer derzeit in Entwicklung befindlicher Fahrerassistenzsysteme für eine Unfallvermeidung bestimmt werden.
- Aus den Daten der Unfallanalysen sollen konkrete Empfehlungen abgeleitet werden, wie einzelne Fahrerassistenzsysteme gestaltet werden müssen, um einen möglichst großen Nutzen

für die Unfallprävention zu erzielen, unerwünschte Nebenwirkungen zu reduzieren und Verkehrsgefährdungen durch einen Missbrauch dieser Systeme vorzubeugen.

- Ergänzend dazu sollen aus den Ergebnissen der Auswertung von Unfallursachen und Risikofaktoren Schlussfolgerungen für eine verbesserte Unfallprävention gezogen und die wichtigsten gesetzgeberischen, polizeilichen und straßenbaulichen Maßnahmen aufgezeigt werden.

2 Theoretische Modelle und Literaturanalyse

2.1 Bisherige psychologische Untersuchungen von Verkehrsunfällen

2.1.1 Das sogenannte „Unfäller-Problem“

Untersuchungen von Verkehrsunfällen gibt es beinahe schon so lange wie Kraftfahrzeuge im Straßenverkehr. Erste Schilderungen von Straßenverkehrsunfällen stammen aus dem Jahre 1895 (Marshall, 1988, S. 2, zit. nach Echterhoff, 1991, S. 79). In den USA wurde 1899 zum ersten Mal ein Mensch von einem Kraftwagen getötet. Nader (1965) beschreibt diesen Unfall wie folgt:

„On a September day in 1899, Mr. H. H. Bliss stepped down from a trolley car in New York City and, while graciously assisting a lady passenger to alight, was fatally struck by a horseless carriage […]” (S. 295).

Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts begann man, systematische Statistiken über Verkehrsunfälle zu führen. Aus dieser Zeit stammen auch die ersten Versuche, die Ursachen von Unfällen zu erklären. In einer Veröffentlichung von 1929 schrieb Ach – ein Pionier der Unfallforschung:

> Die Statistik gibt uns erst seit dem Jahre 1927 nähere Auskünfte über die Ursachen der Autounfälle [...] Ich kann nicht anders sagen, als dass diese Tabelle in ihrer einfachen Sprache auf mich immer wieder einen geradezu erschütternden Eindruck macht [...] Wenn wir an die Agitation denken, welche gerade im letzten Jahr in den Berliner Tageszeitungen gegen die Schlüpfrigkeit des Asphalts und ihre Bedeutung für die Auto-Unfälle getobt und die Gemüter in Erregung versetzt hat, und wir sehen uns die tatsächlichen Verhältnisse an, dann müssen wir sagen, dass in der Beseitigung des Asphalts bzw. dessen Schlüpfrigkeit nicht das Heilmittel gegen die Auto-Unfälle gesucht werden kann [...] Die Agitation muß zweifellos in einer ganz anderen Richtung einsetzen, nämlich dort, wo die Ursache für die überwiegende Zahl der Unfälle vor allem zu suchen ist, und das ist der Fahrer. Denn in ihm haben sowohl 1927 als 1928 ungefähr 70 % der Unfälle ihren Grund [...] so finden wir, dass wieder 70 % dieser Unfälle auf rücksichtsloses Fahren des Wagenführers zurückzuführen sind, z. B. zu schnelles Fahren, Überholen an Kreuzung oder Biegung, Außerachtlassen des Vorfahrtsrechtes, vorschriftswidriges Einbiegen u. dgl. [...] so sind auf den Menschen, Fahrzeugführer und Fußgänger, zusammen insgesamt 90 % der Verkehrsunfälle zurückzuführen. (Ach, 1929, S. 90, zit. nach Echterhoff, 1991, S. 82)

Interessant ist, dass Ach eine konkrete Zahl für Unfälle nennt, deren Ursache auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen ist, nämlich 90 Prozent. Dies ist genau der Wert, der auch heute noch – ein dreiviertel Jahrhundert später – in den amtlichen Unfallstatistiken angegeben wird (vgl. Kapitel 1.1).

Ach (1929) führte zudem einen Großteil der Unfälle auf eine zu hohe Geschwindigkeit zurück. Als in den zwanziger Jahren die Zahl der Unfälle in Berlin drastisch anstieg, erklärte er diese Zunahme mit der Aufhebung der Geschwindigkeitsbegrenzung im Jahr 1927. Er zeigte anhand der Unfall-

entwicklung aus den Jahren 1926 bis 1928 auf, dass gerade die Droschkenfahrer (= Taxifahrer) die größte Zunahme an Unfällen aufwiesen. Ach vermutete, dass die Taxifahrer wegen ihres kommerziellen Interesses ihre überdurchschnittliche Fahrerfahrung ausspielten und dabei größere Risiken in Kauf nähmen (Echterhoff, 1991, S. 81 f.).

Er folgerte aus den Unfallstatistiken: „Das Problem der künftigen Bekämpfung der Auto-Unfälle ist demnach im wesentlichen ein psychologisches geworden“ (Ach, 1929, S. 91). Obwohl dieser Satz bis heute nichts von seiner Gültigkeit verloren hat, hatte man damals eine ganz andere Vorstellung davon, wie dieses Problem zu lösen sei, als dies heute der Fall ist: Es herrschte die Meinung, es müssten alle Personen, die zum Fahren ungeeignet seien, vom Fahren ausgeschlossen werden und dann würden die Zahl der Unfälle drastisch reduziert werden.

Erste Versuche, mit Hilfe psychologischer Methoden das Problem von Verkehrsunfällen zu lösen, sind bereits bei Münsterberg (1912) zu entdecken. Münsterberg versuchte damals mit eigens von ihm entwickelten Testgeräten ungeeignete von geeigneten Straßenbahnführern zu selektieren (Beierle, 1995, S. 38). Seinen Experimenten lag die Annahme zugrunde, dass die Fahreigung von bestimmten Merkmalen der Persönlichkeit abhänge. Davon ausgehend entwickelte Marbe (1923) seine Theorie vom „Unfäller“, die besagt, „dass die Wahrscheinlichkeit für einen Menschen, einen Unfall zu erleiden, nach der Anzahl seiner früheren Unfälle zu bemessen ist“ (Marbe, 1923, S. 18).

Damit wurde in den 20er Jahren der Begriff des „Unfällers“ geboren, der für die gesamte verkehrspsychologische Unfallforschung über Jahrzehnte hinaus prägte. Hoyos (1980, S. 153) meint sogar, die Geschichte der Unfallpsychologie sei weitgehend identisch mit der Geschichte des Unfällerbegriffs. Die Diskussion um die Existenz von „Unfällern“ wurde von folgender Beobachtung ausgelöst:

„Die bei gleichbleibender Gefahrenexposition auftretenden Unfälle verteilen sich nicht gleichmäßig auf alle Mitglieder der Population und auch nicht normal innerhalb der Population, sondern einem größeren Anteil von unfallfreien Personen stehen wenige Unfallwiederholer gegenüber“ (Beierle, 1995, S. 38).

Der Unfallwiederholer wurde als von der Norm abweichend betrachtet und ihm wurde die Disposition unterstellt, mehr als andere in Unfälle verwickelt zu werden (Marbe, 1923). Diese Disposition wurde als „Unfallneigung“ bezeichnet, und man ging davon aus, dass sich Fahrer in ihrem Unfallrisiko aufgrund von Persönlichkeitsfaktoren unterschieden. Ach (1927, S. 432, zit. nach Beierle, 1995, S. 39) beispielsweise meinte, der Persönlichkeitstyp des Cholerikers sei diesbezüglich besonders gefährdet, da bei ihm der Drang hervortrete, möglichst schnell zu fahren:

> An erster Stelle steht das Temperament des Menschen. Der Choleriker neigt infolge der Erhöhung der motorischen und sensorischen Erregbarkeit, wie sie für ihn charakteristisch ist, an und für sich schon zu überraschendem Fahren. Er gehört zu jenem Typ der Kraftfahrer, der schon von Anfang an zu rasch fährt, vielleicht mit dem stillen Vorsatz, langsamer zu fahren, wenn es nötig ist [...] Besonders wichtig ist die Eigenart der Sanguiniker. Denn diese Temperamentsveranlagung ist in Deutschland sehr verbreitet [...] Sie führt ihn leicht zu einer

> Unterschätzung der Schwierigkeiten einer Situation und infolgedessen zu leichtsinnigem Verhalten, eine Eigenschaft, die gerade im Schnellverkehr häufig zu Kollisionen führen muß [...] Nur wenn der Sanguiniker unter ständigem Druck steht, dann wird er vorsichtig und leistungsfähig [...] Die Psychologie unterscheidet weiterhin noch das besonnene Temperament, deren Vertreter aber an Zahl erheblich gegenüber den beiden erwähnten Arten zurückstehen. Das ist der Typus des zuverlässigen, sicheren Fahrers, der entschlossen ist, eine mittlere Geschwindigkeit möglichst beizubehalten [...]. (Ach, 1929, S. 93)

Diese Hypothesen über die Ursachen eines bestimmten Fahrverhaltens und einer damit verbundenen Unfallneigung aufgrund eines bestimmten Persönlichkeitstyps muten aus heutiger Sicht ziemlich komisch an. Kurioser als dieser auf die Temperamenten-Lehre von Paracelsus (1493 – 1541) zurückgehende Beitrag zur Verkehrspsychologie ist lediglich noch die Meinung damaliger Psychoanalytiker (Fenichel, 1928; Menninger 1935, zit. nach Beierle, S. 39), die Unfälle auf (verdrängte) Selbstbestrafungswünsche oder Selbstzerstörungstendenzen zurückführten:

> Im ganzen genommen ist das zu Unfällen neigende Individuum ein ungestümer Mensch, der seine Augenblicksregungen unmittelbar in Handlung umsetzt. Er hegt eine tief eingegrabene Aufsässigkeit gegen die übertriebenen Gesetze seiner Erziehung in sich, einen tiefen Groll gegen alle Autoritätspersonen. Gleichzeitig besitzt er ein strenges Gewissen, das ihn für diese Aufsässigkeit mit Schuld belädt. Mit dem unbewusst provozierten Unfall bringt er seinen Groll und seine Rachegefühle zum Ausdruck, wobei er für seine Aufsässigkeit mit seiner Verletzung büßt. (Alexander, 1951, S. 168, zit. nach Echterhoff, 1991, S. 86)

Die „Unfällertheorie“ ist historisch im Zusammenhang zu sehen mit dem Aufblühen von differentialpsychologischen und psychodiagnostischen Bestrebungen in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts und dem Glauben, die Psychologie habe die Macht, die menschliche Seele wie ein Röntgenapparat zu durchleuchten und könne so das Verhalten eines Menschen vorhersagen. Daher sei es die Aufgabe der Psychologie, durch entsprechende diagnostische Verfahren die geeigneten von den ungeeigneten Fahrern zu unterscheiden und die ungeeigneten auszusondern.

Die „Unfällertheorie“ hatte einen enormen Einfluss auf die Verkehrspsychologie. So fand z. B. die Arbeit der Anfang der 50er Jahre gegründeten Medizinisch-Psychologischen Untersuchungsstellen (MPU, damals noch unter dem Namen „Deutsche Untersuchungsstelle für die Überprüfung der Kraftfahrereignung“) in der Idee des Unfällers ihre sachliche Begründung. Auch das heutige Bonus- und Malus-System der Kfz-Versicherungen beruht ebenso auf dieser Denkweise wie die Registrierung von auffälligen Kraftfahrern im deutschen Verkehrszentralregister („Punkte in Flensburg“) (Echterhoff, 1991, S. 91 f.).

Es ist sicherlich nicht übertrieben zu sagen, dass keine verkehrspsychologische Theorie so große gesellschaftliche Auswirkungen gehabt hat. Der Nachteil an dieser Theorie ist nur: Sie stimmt nicht. Bereits 1962 kam Undeutsch in der kontrovers geführten Diskussion um die Unfällerproblematik zu dem Schluss:

> Die wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen zeigen, dass höhere Unfallzahlen bei einzelnen Personen sich sehr wohl auch durch bloßen Zufall ergeben können, ohne dass bei den Betreffenden eine persönliche relativ überdauernde Unfallneigung angenommen werden müsste. Damit entfällt aber die Möglichkeit, von einer überdurchschnittlich hohen Unfallzahl aus ohne weiteres diagnostische Rückschlüsse auf das Vorliegen einer erhöhten Unfallneigung der betreffenden Person zu ziehen. (Undeutsch, 1977, S. 128 f.)

Der entscheidende Punkt zum Verständnis des „Unfällerproblems“ ist die Tatsache, dass Verkehrsunfälle seltene Ereignisse sind und daher statistisch betrachtet einer Poisson-Verteilung unterliegen. Die Poisson-Verteilung spiegelt dabei den Umstand wider, dass allein nach den Wahrscheinlichkeitsgesetzen – also auch ohne die Annahme einer Unfalldisposition – eine Minderheit an Fahrern mit einer vergleichsweise hohen Unfallbelastung zu erwarten ist – auch dann, wenn für alle Mitglieder des Kollektivs die gleiche Wahrscheinlichkeit besteht, einen Unfall zu erleiden. Je geringer die durchschnittliche Ereignishäufigkeit in einer Population ist, desto stärker ist die Konzentration der Ereignisse (Unfälle, Fehlhandlungen) auf eine kleine Minderheit.

Nur wenn zwischen der Poisson-Verteilung und der empirischen Verteilung signifikante Unterschiede bestehen, kann auf ein interindividuell variables Merkmal geschlossen werden, das man als Unfallneigung bezeichnen könnte. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass auch die gleiche objektive Gefährdung vorliegt. Das bedeutet, dass dabei z. B. berücksichtigt werden muss, dass manchen Mensche sehr viel mit dem Auto fahren und manche nur sehr wenig, denn dadurch besteht bei Vielfahrern schon allein aufgrund ihrer höheren Fahrleistung eine größere Wahrscheinlichkeit, in einen Unfall verwickelt zu werden.

Nur bei sehr umfangreichen Unfallerhebungen können Häufigkeitsverteilungen vom Poisson-Modell abweichen. In diesen Fällen entspricht die Verteilung dann in der Regel der negativen Binomialverteilung, die man als Zusammensetzung mehrer Poisson-Verteilungen mit unterschiedlichem Parameter Lambda interpretieren kann. Lambda ist der einzige Parameter der Poisson-Verteilung; er ist als Risiko zu interpretieren, das inhärent und für jeden Verkehrsteilnehmer gleich ist. Bei der negativen Binomialverteilung entspricht der Parameter Lambda der Unfallneigung einer bestimmten *Gruppe* (z. B. ältere Autofahrer, Fahranfänger), nicht jedoch einzelner Personen. Für einzelne (Risiko)*gruppen* ist durchaus ein erhöhtes Unfallrisiko nachweisbar – insofern haben entsprechende gruppenspezifische Sicherheitsmaßnahmen durchaus ihre Berechtigung (Zimmer, 1997, S. 19).

Eine mathematisch-statistische Widerlegung der „Unfällertheorie“ findet sich bei Drösler (1965, S. 245-290). Er kam bereits vor rund 40 Jahren zu dem Schluss: „Die verbreitete Ansicht, durch Fernhaltung der psychologisch auffälligen Bewerber entscheidend das allgemeine Unfallrisiko auf den Straßen senken zu können, läßt sich nach diesen Ergebnissen nicht aufrechterhalten [...] Es scheint darum geraten, sich nach anderen psychologischen Verfahren zur Risikominderung als denen der Personalauslese umzuschauen“ (Drösler, 1965, S. 277 und S. 280).

Während in der Verkehrspsychologie ab den 60er Jahren bei der Untersuchung und Erklärung von Verkehrsunfällen allmählich ein Umdenken begann (z. B. Undeutsch, 1962; Böhm et al., 1965), hielt sich bei der Fahrereignungsdiagnostik und in der Alltagspsychologie die Theorie vom Unfäller noch lange Zeit und wirkt teilweise noch bis heute fort.

2.1.2 Der systemisch-situationsorientierte Ansatz der Unfallentstehung

Der überholten „Unfällertheorie" lag die Annahme zugrunde, dass Fehler und Fehlhandlungen in erster Linie durch Unzulänglichkeiten von Individuen verursacht würden und dass diese Unzulänglichkeiten mehr oder weniger stabile Persönlichkeitseigenschaften seien. Heutzutage herrscht hingegen die Auffassung, dass Fehler und Fehlhandlungen hauptsächlich durch aktuelle, allgemeinpsychologisch analysierbare Vorgänge verursacht werden.

Dementsprechend ist es nicht die Aufgabe der Verkehrspsychologie, vermeintlich ungeeignete Fahrer auszusondern und vom Steuer fernzuhalten; der Fokus liegt vielmehr auf dem momentanen Fehlverhalten und auf seinen allgemeinpsychologischen Bedingungen, die dieses begünstigen. Für die Unfallprävention bedeutet dies, dass die Umweltbedingungen so verändert werden müssen, dass die Entstehung von Fehlern sowie die Schwere ihrer Folgen minimiert werden (Hacker, 1998, S. 699). Der Begriff „Umweltbedingungen" ist in diesem Zusammenhang sehr weit gefasst: Er reicht von der Gestaltung der Straße und der Fahrumgebung, über Beschilderungen bis hin zur Gestaltung des Fahrzeuginnenraums, dem Design von Anzeigen und Bedieneinrichtungen sowie der Funktionalität von Assistenzsystemen.

Das bedeutet jedoch keineswegs, dass in diesem neuen, systemischen Paradigma dem Fahrer keine Bedeutung mehr zugemessen würde. Denn zum einen besteht die Möglichkeit, durch Qualifizierung und Training die subjektiven Leistungsvoraussetzungen des Fahrers zu verbessern (während in der „Unfällertheorie" die Mängel des Fahrers als etwas Stabiles und der Fahrer selbst als praktisch nicht lernfähig angesehen wurden). Zum anderen interagiert der Fahrer mit seiner Umwelt – er handelt und macht Fehler, womit ihm weiterhin die zentrale Schlüsselposition bei der Unfallentstehung zukommt. Entscheidend ist jedoch, dass seine Fehler in hohem Maße *situativ* bedingt sind.

Das Modell des Zustandekommens von Unfällen von Reason (1994, S. 256) illustriert die situative Bedingtheit und das komplexe Zusammenwirken verschiedener Risikofaktoren bei der Entstehung eines Verkehrsunfalls sehr anschaulich (vgl. Abbildung 1). Es zeigt eine *Bahn der Unfallgelegenheit*, die mehrere Schutzschichten durchdringt, so dass es schließlich zum Unfall kommt. Das Durchdringen einer Schutzschicht ist deswegen möglich, weil jede dieser Schichten *Gelegenheitsfenster* („Schlupflöcher") besitzt, die auf der Umwelt-, Fahrzeug- und Verhaltensebene einzelnen Risikofaktoren entsprechen. Die Schlupflöcher unterliegen zudem mehr oder weniger unvorhersagbaren Einflüssen sowohl innerer als auch äußerer Faktoren. Sie befinden sich in Bewegung,

ändern ihre Position und Größe auf jeweiligen Ebene des Systems.

Aus Abbildung 1 wird jedoch ebenfalls ersichtlich, dass die Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Unfallgelegenheit alle Ebenen (Abwehrmaßnahmen) durchdringt, sehr gering ist, nämlich nur dann, wenn in allen Abwehrmaßnahmen ein Schlupfloch zu finden ist. Das heißt selbst bei einer vergleichsweise großen Häufigkeit von Risikofaktoren auf der Umwelt- oder Fahrzeugebene sowie von Fehlern und Fehlverhaltensweisen auf Seiten des Fahrers entsteht aufgrund des mehrfach geschichteten Systems nur sehr selten eine Verbindung von Fehlermöglichkeiten derart, dass es zu einem Unfall kommt. Anders formuliert: Die verschiedenen Sicherheitsebenen können hinsichtlich ihrer Sicherheit löchrig wie ein Schweizer Käse sein, aufgrund ihrer relativen Unabhängigkeit und hohen Redundanz bleibt dennoch eine gradlinige Verbindung, wie sie die Bahn einer Unfallgelegenheit symbolisiert, ein äußerst seltenes Ereignis (Zimmer, 1997, S. 19 f.).

Das Modell von Reason macht deutlich, dass Unfälle in der Regel durch mehrere Unfallursachen und Risikofaktoren bedingt sind und dass Unfälle durch ein gleichzeitiges Zusammentreffen dieser Faktoren verursacht werden. Der Zufall spielt dabei eine entscheidende Rolle. Ein Beispiel: Ein Unfall kann dadurch verursacht werden, weil der Fahrer gerade eine Einstellung am Radio vornimmt und dadurch vom Verkehrsgeschehen abgelenkt ist. Die Radiobedienung *allein* kann jedoch nicht der Grund dafür sein. Denn wenn dies ein hinreichender Grund wäre, dann müsste schließlich jede Radiobedienung zu einem Unfall führen.

Weitere „Löcher“ im Sicherheitssystem müssen also vorhanden sein: Zum Beispiel bei einem Auffahrunfall eine unübersichtliche, enge Kurve (Umwelt), eine eingeschränkte Sicht durch Nebel (Umwelt), eine schlechte ergonomische Gestaltung des Autoradios, so dass ein Bedienvorgang eine längere Blickabwendung erfordert (Fahrzeug), eine zu hohe Fahrgeschwindigkeit (Fahrer; Verstoß), ein zu geringer Sicherheitsabstand zum Vorausfahrenden (Fahrer, Verstoß), Ablenkung durch ein Gespräch mit dem Beifahrer (Fahrer; Fehler), das Vorhandensein eines Vordermanns, der selbst gerade bremsen muss (Verkehrssituation; reiner Zufall). Erst durch das gleichzeitige Auftreten solcher einzelner Faktoren kann es zum Unfall kommen.

Eine solche Sichtweise von Verkehrsunfällen wirkt sich auch auf Maßnahmen zur Unfallprävention aus. Prinzipiell gibt es Ansatzpunkte auf jeder Ebene, denn jedes „Schlupfloch“ erhöht die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls. Eine genaue Analyse eines Verkehrsunfall ermöglicht es, solche „Schlupflöcher“ zu identifizieren und geeignete Strategien zur Reduzierung dieser Risikofaktoren zu entwickeln. Auffahrunfälle wegen Radiobedienung können z. B. dadurch reduziert werden, indem die Bedienbarkeit von Autoradios verbessert wird, so dass eine kürzere Blickabwendung von der Fahrbahn notwendig ist, durch Bedientasten am Lenkrad oder sogar durch Sprachbedienung des Radios, so dass der Blick überhaupt nicht von der Fahrbahn abgewendet werden muss. Ein anderer Ansatzpunkt ist eine Kompensation solcher durch visuelle Ablenkung verursachter Fehler durch das Fahrzeug, z. B. durch Fahrerassistenzsysteme, die den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug regulieren und so ein Auffahren verhindern (ACC, Automatische Notbremse, siehe Punk-

te 2.2.1 und 2.2.2).

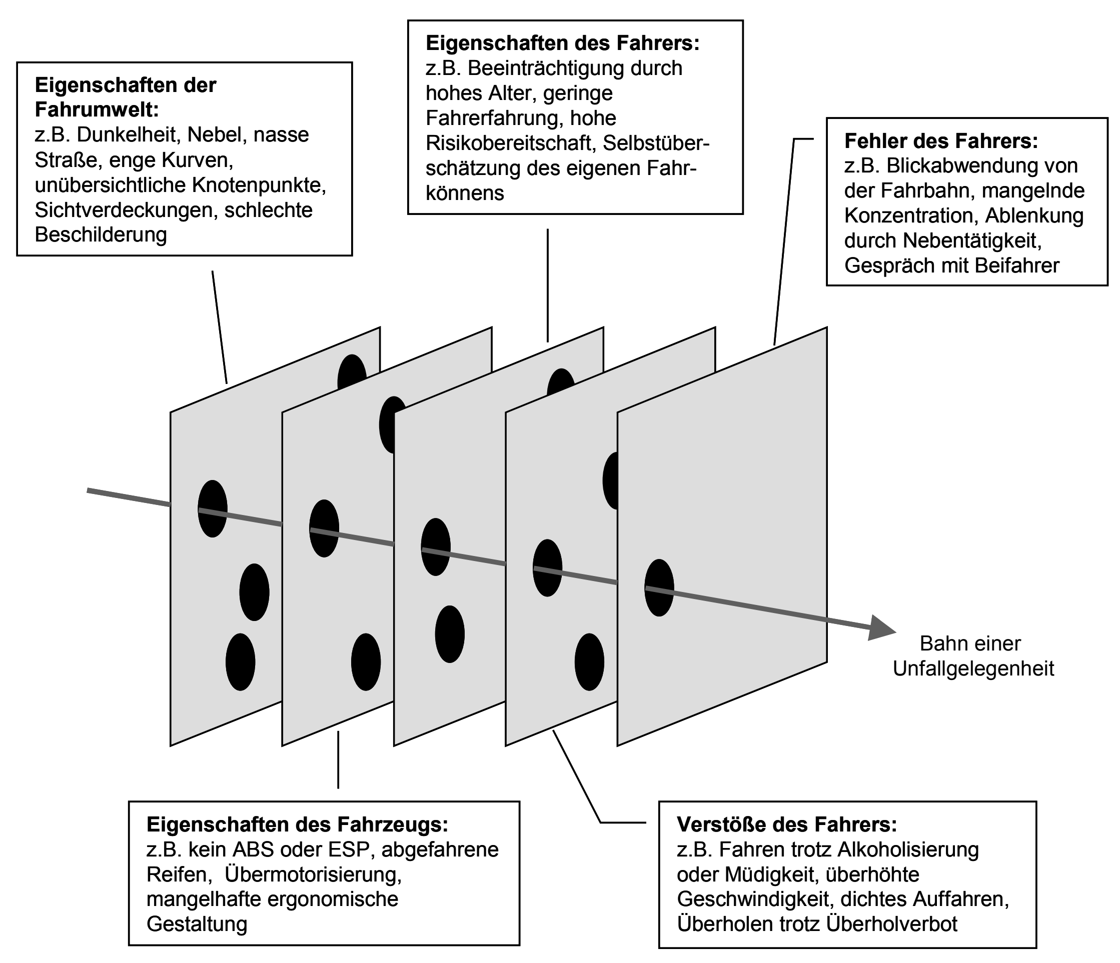


Abbildung 1: Die Bahn der Unfallgelegenheit nach Reason (1994, S. 256), angepasst auf den Straßenverkehr. Die auf den einzelnen Ebenen befindlichen Löcher symbolisieren die in den Kästchen beispielhaft genannten Risikofaktoren, quasi die Schlupflöcher im Sicherheitssystem. Die Grafik illustriert, wie es durch eine komplexe Wechselwirkung zwischen latenten Fehlern und einer Vielzahl von lokalen Auslöseereignissen zu einer Konstellation kommen kann, in der ein Unfall möglich wird.

2.1.3 Untersuchungen mit differenzierter Betrachtungsweise der Unfallentstehung

Erste Ansätze einer differenzierteren Betrachtungsweise der Unfallverursachung, in der die Unfallneigung als Persönlichkeitsdisposition nicht mehr die bedeutendste Rolle spielt, finden sich bei Mittenecker (1962). Er stellte in einer Zusammenfassung empirischer Untersuchungen fest, dass die große Mehrzahl von Verkehrs- und auch Arbeitsunfällen auf (sogenanntes) „menschliches Versagen“ und „persönliche Ursachen“ zurückzuführen sei. Dabei gebe es aber folgendes zu beach-

ten:

> Bei der Gliederung ‚menschlicher' Ursachen muß differenziert werden zwischen solchen, welche im Verletzten selber liegen, und fremdpersönlichen Bedingungen. Die persönliche Beteiligung des Unfallbetroffenen wiederum muß aufgegliedert werde in psychologische und nicht psychologische (z. B. medizinische) Bedingungen, wobei zu beachten ist, dass körperliche und gesundheitliche Ursachen eine im Vergleich zu den psychologischen nur geringe effektive Bedeutung haben. (Mittenecker, 1962, S. 7)

Die psychologischen Bedingungen unterteilt Mittenecker wiederum in zwei Kategorien, nämlich *zeitkonstante* und *zeitvariable* Bedingungen der Unfallgefährdung. Mit *zeitlich konstanten* psychologischen Bedingungen meint Mittenecker Persönlichkeitsmerkmale, Fähigkeiten und dauernd vorhandene Einstellungen des Menschen. Unter *zeitlich variablen* Bedingungen versteht er „Leistungs- und Stimmungsänderungen und ihre inneren und äußeren Umstände, wie Übung, Ermüdung, bisherige Erfahrung, Lebensalter, Arbeitsdauer, Temperatur usw." (S. 9; vgl. auch Beierle, 1995).

Er betont, dass *zeitkonstante* und *zeitvariable* Bedingungen sich nicht scharf voneinander abgrenzen lassen, sondern dass es fließende Übergänge zwischen diesen beiden Kategorien gibt. Mittenecker (1962) kommt zu dem Schluss, dass die *zeitlich variablen* Bedingungen diejenigen sind, „welche eindeutigere und mehr allgemeingültige Zusammenhänge mit der Unfallwahrscheinlichkeit ergeben habe" (S. 148).

Die *zeitvariablen* Bedingungen differenziert Mittenecker wiederum in zwei Gruppen, nämlich *persönliche* und *situative* Bedingungen. Er zählt zu den zeitvariablen persönlichen Bedingungen Alkohol, Drogen, Medikamente, Ermüdung, Stimmungen, Erfahrung und Alter. Diese möchte er getrennt wissen von den zeitvariablen *situativen* Bedingungen, da diese seiner Meinung nach nur außerpersönliche Bedingungen mit indirekter psychologischer Bedeutung darstellen. Er zählt dazu die Art der Tätigkeit, atmosphärische Bedingungen, Temperatur, Fahrdauer und Verkehrsdichte. Diese Faktoren wirken Mittenecker zufolge nur über den Umweg über die *persönlichen* Bedingungen. Beispiel: Eine lange Fahrzeit (= zeitvariable *situative* Bedingung) bewirkt beim Fahrer Ermüdung (= zeitvariable *persönliche* Bedingung) und erhöht dadurch das Unfallrisiko.

Mitteneckers differenzierte Unterscheidung unfallfördernder Bedingungen zeigte Anfang der 60er Jahre eine neue Perspektive in der psychologischen Unfallforschung. Die Differenzierung nach zeitkonstanten und zeitvariablen Bedingungen sowie nach persönlichen und situativen Bedingungen bedeutete einen wichtigen Schritt weg von der „Unfällertheorie" hin zu einer systemisch-situativen Sichtweise des Unfallentstehungsprozesses (Beierle, 1995).

Die ersten bedeutenden psychologischen Untersuchungen zur Entstehung von Verkehrsunfällen, die auf diesem differenzierten Ansatz aufbauen sind die Forschungen von Undeutsch (1962) und die darauf aufbauenden Untersuchungen von Böhm et al. (1965). Undeutsch unterscheidet zwischen *Hauptursachen* und *Mitursachen*; Böhm et al. bezeichnen diese zweite Kategorie als *Hinter-*

grundbedingungen.

Böhm et al. führten mit verunfallten Fahrern Interviews, in denen sie diese zum Unfallhergang und den näheren Umständen befragten. Etwa ein Drittel der zufällig ausgewählten Personen war bereit, bei einem solchen Interview mitzumachen. Der Befragungszeitpunkt lag mehrere Monate, teilweise sogar mehr als ein Jahr vor dem Unfallereignis zurück (Böhm et al., 1965, S. 43 f.). Fahrer über 65 Jahre sowie Fahrer, bei deren Unfall Alkohol im Spiel war, wurden (aus von den Autoren nicht erklärten Gründen) von der Untersuchung von vornherein ausgeschlossen. Über die genauen, im Interview gestellten Fragen machen die Autoren keine Angaben.

Auf der Grundlage dieser explorativen Interviews entwickelten die Autoren ein differenziertes Kategoriensystem, mit dem sie die bei den Unfällen aufgetretenen Fehler bzw. Risikofaktoren klassifizierten. Obwohl dieses Kategoriensystem deutliche Schwächen aufweist, ist es – verglichen mit denen, die andere Autoren später entwickelten – dennoch eines der brauchbarsten. Zu einer kritischen Bewertung dieses Systems siehe Kapitel 2.7.1.1.

Ein Beispiel für einen deutlich schlechteren Ansatz, Verkehrsunfälle zu untersuchen, ist die häufig zitierte englische Studie von Kemp et al. (1972) (vgl. auch Schneider, 1977 sowie Brown, 1990a). In dieser Untersuchung (mit ingenieurwissenschaftlichem Schwerpunkt) wurden verunfallte Fahrer noch am Unfallort zum Unfallhergang befragt. Der Versuch, Fehler bei den Verkehrsteilnehmern zu ermitteln, führte jedoch zu einem missglückten Kategoriensystem (siehe Kapitel 2.7.1.4), das aus einem Durcheinander aus unmittelbaren Verhaltensfehlern, psychischen Ursachen, die diesen Verhaltensfehlern zugrunde liegen, und rechtlichen Wertungen besteht. Aufgrund zahlreicher Konfundierungen bei den einzelnen Fehlerarten lassen sich aus dieser Untersuchung keine brauchbaren Schlussfolgerungen ziehen.

Shinar et al. (1978) untersuchten mit einem interdisziplinären Team, bestehend aus einem Soziologen, einem Psychologen, einem Verkehrsingenieur, einem Umweltspezialisten, einem Kfz-Ingenieur und einem Spezialisten für die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen 420 Unfälle im US-Bundesstaat Indiana (vgl. auch Treat et al. 1977). Sie untersuchten die Unfallstelle, das Fahrzeug und führten noch an der Unfallstelle Interviews mit den verunfallten Fahrern. Sie verwenden zur Fehleranalyse ein Klassifikationssystem, das Ähnlichkeit mit dem von Böhm et al. (1965) hat. Die Schwächen des Systems von Böhm et al. werden jedoch nicht behoben; stattdessen werden andere Schwachpunkte hinzugefügt (vgl. dazu Kapitel 2.7.1.2).

Zudem müssen Zweifel an der Repräsentativität der Stichprobe angemeldet werden. Beispielsweise sind bei 420 Unfällen lediglich zwei (0.5 %) dabei, bei denen Alkoholisierung eine Rolle spielte (zum Vergleich: laut Bundesamt für Statistik (2002, S. 43) sind ca. 3.4 % der verunfallten Fahrzeugführer alkoholisiert). Positiv hervorzuheben an dieser Studie ist dagegen der interdisziplinäre Ansatz und der Anspruch, alle drei für die Entstehung von Verkehrsunfällen wichtigen Bereiche in die Unfallanalyse mit einzubeziehen, nämlich Fahrer, Fahrzeug und Umwelt.

Wie Shinar et al. (1978) untersuchten auch Otte et al. (1982) Verkehrsunfälle in einem interdisziplinären Team und befragten noch an der Unfallstelle die Beteiligten zum Unfallhergang. Otte et al. klassifizierten die Verkehrsunfälle anhand eines Kategoriensystems mit acht Kategorien. Eine kritische Bewertung dieses Systems findet sich unter Kapitel 2.7.1.3. Leider werden dem interessierten Leser in der Publikation von Otte et al. (1982) wichtige Informationen vorenthalten.

So erklären die Autoren weder, aufgrund welcher Überlegungen sie zu ihrem Kategoriensystem kamen, noch mit welcher Methodik sie ihre Informationen gewannen, d. h. welche Fragen sie bei ihren Interviews stellten, welche psychologischen Aspekte erfasst wurden usw. (Es existiert kein Anhang mit einem Erhebungsbogen, Interviewleitfaden oder Ähnlichem.) Sie geben nicht einmal an, wie viele Unfälle psychologisch analysiert wurden, und bei der Angabe der Verteilung der einzelnen Unfälle auf die verschiedenen Ursachen-Kategorien geben sie nur Prozentzahlen, jedoch keine absoluten Häufigkeiten an. Operationalisierung, Erhebungsplanung und Ergebnisse lassen sich damit nicht nachvollziehen. Das einzige Ergebnis der psychologischen Untersuchung ist die Einordnung jedes Unfall anhand seiner „Hauptursache" in ein Kategoriensystem, das zudem große Schwächen aufweist (vgl. Kapitel 2.7.1.3).

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass zahlreiche Unfälle (25.4 %) „auf eine Überforderung des Kraftfahrers im Informationsbereich zurückzuführen sind" (S. 69). Ihre Analyse dieses Problems besteht in einem (für Ingenieurswissenschaften typischen) Abbilden von Schaltdiagrammen zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt sowie einem für die damalige Zeit (Beginn des Personalcomputer-Booms) beliebten Gleichsetzen des menschlichen Gehirns mit einem Computer. Sie treffen Aussagen darüber, wie viele Bits pro Sekunde der Mensch pro Sinneskanal in welcher Geschwindigkeit verarbeiten könne und kommen zu folgendem Resümee:

> Es hat sich gezeigt, dass die Verbindung Mensch – Fahrzeug – Umwelt den Fahrer in ganz erheblichem Umfang überfordert, da seine Sinnesorgane und sein Zentralnervensystem für die Anforderungen einer solchen Verbindung nicht ausreichen. Nach unseren bisherigen Ergebnissen ist bei einem Viertel der Unfälle eine Überforderung des Fahrers im Informationsbereich als Hauptunfallursache anzusehen. (Otte et al., 1982, S. 70)

Zu den restlichen drei Viertel der Unfallursachen äußern sich Otte et al. gar nicht. Die Pauschalität dieses Resümees spricht für sich und ist charakteristisch für die gesamte Arbeit der Autoren. Alles in allem muss man die Publikation von Otte et al. (1982) mit dem Versuch, Verkehrsunfälle psychologisch zu analysieren, als wissenschaftlich nicht fundiert bezeichnen, da sie selbst grundlegende wissenschaftliche Standards nicht einhält.

Trotz dieser mangelnden wissenschaftlichen Qualität bauten andere Unfallforscher auf dieser Arbeit auf. So verwendet z. B. Beierle (1995) das Fehlerklassifikationssystem von Otte et al. (1982), denn seiner Meinung nach stelle es den „besten Versuch dar, menschliche Unfallursachen zu beschreiben" (Beierle, 1995, S. 63). Auch wenn diese Aussage ein Fehlurteil ist, so wirft sie dennoch in gewisser Weise auch ein bezeichnendes Licht auf die Qualität bisheriger psychologischer Arbei-

ten zur Analyse von Verkehrsunfällen.

Beierle beschränkt sich in seiner Arbeit auf die Untersuchung von Lkw-Unfällen, für die schwerpunktmäßig andere Faktoren relevant sind als für Pkw-Unfälle (z. B. Stress durch Termindruck, Übermüdung durch lange Fahrzeiten, kritisches Fahrzeugverhalten durch starke Beladung). Für seine Untersuchung interviewte er Lkw-Fahrer und verglich dabei solche, die irgendwann einmal einen Unfall verursacht hatten (55 Fahrer), mit solchen, die bislang unfallfrei gefahren waren (64 Fahrer).

Zum einen fragte Beierle in Interviews nach situativen Faktoren, z. B. Ablenkungen, Nebentätigkeiten, die in der Pre-Crash-Phase zum Unfall beigetragen haben – zum anderen erfasste er aber auch zahlreiche allgemeine Faktoren (z. B. Schulabschluss, Ausbildung, grundsätzliche Arbeitsbedingungen, generelle Belastung bei ihrer Arbeit, Besonderheiten der Arbeitsorganisation bei den Betrieben, bei denen sie beschäftigt sind, Einstellungen zu bestimmten Aspekten ihrer Arbeit / ihres Betriebs, Betriebsklima, usw., Beierle, 1995, S. 293-318).

Gerade diese ausführliche Befragung verunfallter und unfallfreier Fahrer zu allgemeinen Themen, die nichts mit den Wahrnehmungen, Kognitionen und Reaktionen in der Phase unmittelbar vor dem Unfall zu tun haben, erinnert stark an den überholten „Unfäller-Ansatz“. Obwohl Beierle die Unfäller-Theorie selbst scharf kritisiert, geht seine eigene Untersuchung teilweise in eine ähnliche Richtung.

In einer finnischen Studie untersuchte Salusjärvi (1989) psychische Faktoren von Verkehrsunfällen. Jeder Unfall wurde dabei von einem interdisziplinären Team technisch und psychologisch rekonstruiert. Die Untersuchung von Salusjärvi ist wohl diejenige mit der besten methodischen Vorgehensweise. Er verwendete zur psychologischen Analyse ein Fehlerkategorisierungsschema, das auf einem Informationsfluss-Modell basiert. Je nachdem, an welcher Stelle im Informationsfluss eine Störung auftrat, unterschied er zwischen einem mechanischem Filter, einem Wahrnehmungsfilter und einem kognitiven Filter (Salusjärvi, 1989, S. 82).

Dieser Ansatz erinnert etwas an das in Kapitel 2.7.2.2 vorgestellte und für die vorliegende Untersuchung verwendete Fehlerklassifikationsmodell von Rasmussen (1982), beschreibt jedoch das menschliche Handeln nicht vollständig. Es beschränkt sich vielmehr auf die zahlenmäßig häufigen Fehler bei Wahrnehmung und Informationsbewertung (Diagnose). Der Nachteil an dieser im Ansatz vielversprechenden Untersuchung ist jedoch, dass das Team von Salusjärvi lediglich 15 Verkehrsunfälle nach dieser Methode analysierte (vgl. S. 91). Damit sind die Ergebnisse statistisch ohne jegliche Aussagekraft. Allein die Anzahl möglicher Unfallursachen übersteigt die untersuchte Fallzahl bei weitem.

Dasselbe gilt auch für die Aussagekraft der Studie von Pund und Nickel (1994). Auch sie analysierten mit einem interdisziplinären Team lediglich 16 Verkehrsunfälle (vgl. S. 24). Bei dieser Anzahl von Fällen stellte sich auch gar nicht erst die Frage, nach welchem System Unfälle klassifiziert

werden sollten. Pund und Nickel beschränkten sich daher darauf, ihre 16 Unfälle inhaltlich zu beschreiben und sie nacheinander aufzulisten. Die Erhebungsmethode bestand in der Durchführung von Interviews mit den verunfallten Fahrern entweder noch direkt an der Unfallstelle bzw. in zeitlicher Nähe zum Unfallereignis. Sie verwendeten dazu einen Interviewleitfaden mit ausschließlich offen Fragen (vgl. Pund & Nickel, S. 52-56).

Zusätzlich zu diesen zu 16 Unfällen geführten Interviews verschickten die Autoren an zahlreiche weitere Fahrer (216 Rückläufe) Fragebogen, mit dem Eigenschaften und Einstellungen der Fahrer gemessen werden sollten. Dieser „Fragebogen für verkehrsauffällige Kraftfahrer“ besteht aus vier Skalen (Pund & Nickel, 1994, S. 107 f.): „Skala A“ soll die „Emotionale Instabilität“ des Fahrers messen, „Skala C“ die „Identifikation mit dem Auto“ sowie die „emotionale Fixierung auf das Kraftfahren“ und „Skala D“ eine „erhöhte Impulsivität“, „Schuldabschiebungstendenzen“, „Uneinsichtigkeit“ sowie „mangelnde Bindung an Normen und Regeln des Straßenverkehrs“ (Skala V ist lediglich eine „Lügen-Skala“ zur Kontrolle der Ehrlichkeit des Fahrers).

Die Tatsache, dass selbst in neueren Untersuchungen zu Unfallforschung immer noch Methoden eingesetzt werden, die auf dem überholten Konzept des „Unfällers“ beruhen, muss nachdenklich stimmen. In den Skalen dieses Fragebogens lebt der in den 20er Jahren aufgekommene und schon seit den 60er Jahren widerlegte Irrglaube einer „Unfallneigung“ bestimmter Personen wieder auf. Dies zeigt, dass es auch heutzutage noch Unfallforscher gibt, die glauben, dass ein nennenswerter Teil der Verkehrsunfälle deswegen entsteht, weil der Fahrer neurotisch ist (Skala A: „Emotionale Instabilität“).

Insgesamt gesehen sind die Studien von Salusjärvi (1989) sowie Pund und Nickel (1994) schon aufgrund ihrer geringen Anzahl untersuchter Unfälle (15 bzw. 16 Fälle) ohne statistische Aussagekraft. Pund und Nickel bezeichnen daher ihre Untersuchung auch nur als „Methodenstudie“. Methodisch ist allerdings die Arbeit von Salusjärvi deutlich vorzuziehen, da dieser mit seiner Analyse des Informationsflusses zumindest einen interessanten Ansatz zur Fehlerklassifikation verwendet, der sich aus modernen Informationsverarbeitungstheorien ableitet.

Die oben genannten Untersuchungen können noch am ehesten für sich in Anspruch nehmen, *psychologische* Unfallforschung zu betreiben. Andere Studien zu Verkehrsunfällen (z. B. Davison, 1986; de Velde Harnsenhorst & Lourens, 1991; Janke, 1983; Mihal & Barett, 1976) erfassten zumeist lediglich allgemeine Informationen wie die Tageszeit, Wetterbedingungen, Typ und Alter der beteiligten Fahrzeuge, Angaben über Verletzungen und Beschädigungen (mit dem Verletzungsgrad, Todesangaben und geschätzter Unfallschaden), Alter und offensichtlicher Zustand der Fahrer. Angaben über Ursachen oder Fehler der Fahrer basieren meist lediglich auf Annahmen – eine differenzierte Fehleranalyse ist nicht vorhanden.

Andere Studien zu Verkehrsunfällen beschränken sich auf bestimmte Aspekte der Unfallverursachung. Hervorzuheben ist hier insbesondere die Untersuchung von Wierwille und Tijerina (1995),

die sich ausschließlich mit Unfällen befasste, die durch visuelle Ablenkung durch Reize innerhalb des Fahrzeugs entstanden. Dabei wurden sämtliche in der Unfalldatenbank des US-Bundesstaates North Carolina gespeicherten Unfallberichte des Jahres 1989 und der ersten 4 Monate des Jahres 1992 nach bestimmten Schlüsselwörtern durchsucht. Die Treffer wurden einer genaueren Analyse unterzogen. Das Forschungsinteresse galt solchen Unfällen, die durch die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit und der visuellen Belastung innerhalb des Fahrzeugs verursacht werden. Die Autoren konnten zeigen, dass zahlreiche Unfälle durch Beeinträchtigung der visuellen Aufmerksamkeit (mit)verursacht werden, und sie konnten die Quellen innerhalb des Fahrzeugs identifizieren, die ein großes bzw. weniger großes Risiko darstellen. Nicht berücksichtigt wurden jedoch sämtliche Unfallursachen, die nicht auf visuelle Ablenkung bzw. Belastung zurückzuführen sind. Der Großteil der Unfälle konnte somit nicht ursächlich erklärt werden.

Berücksichtigt werden muss auch, dass bei dieser Untersuchung zwar eine sehr große Menge an Unfallberichten ausgewertet wurde (über 17 500), dass jedoch aufgrund dieser Datenmenge die Berichte nur oberflächlich ausgewertet werden konnten. Eine gründlichere Fall-Analyse ist bei dieser Anzahl der Verkehrsunfälle nicht zu bewältigen. Kritisch anzumerken ist auch, dass visuelle Ablenkung – sofern sie überhaupt auftritt – in der Regel nur *ein* Faktor ist, der den Unfall *mit*verursacht. Selten ist sie die alleinige Ursache; in den meisten Fällen kommen weitere Risikofaktoren hinzu, die erst in ihrer Kombination zum Unfall führen.

Hinzu kommt, dass Polizeiberichte nur bedingt geeignet sind, die Ursachen von Verkehrsunfällen zu untersuchen. Dies liegt daran, dass ihr Zweck nicht die Erforschung von Verkehrsunfällen ist, sondern die Klärung und Dokumentierung der Schuldfrage (im juristischen Sinn). Dies beinhaltet die Beschreibung des Unfallhergangs und die Nennung der Paragraphen der StVO, gegen die verstoßen wurde. Die Nennung der Gründe, warum ein Fahrer z. B. eine Vorfahrt nicht bewährt hat, ist nicht Aufgabe der Polizei. So findet man beispielsweise häufig Formulierungen wie „...an der Kreuzung wollte Fahrer 01 links abbiegen. Dabei übersah er den entgegenkommenden Pkw von Fahrer 02...“. Der Grund, warum das entgegenkommende Fahrzeug übersehen wurde, steht in der Regel nicht in der Verkehrsunfallanzeige. Nur in seltenen Ausnahmefällen findet man darin Aussagen der Fahrer, die z. B. zugeben, dass sie zum Unfallzeitpunkt durch bestimmte Dinge abgelenkt waren.

Der Hauptgrund dafür dürfte sein, dass viele Verunfallte gegenüber der Polizei eigene Fehler, die zum Unfall geführt haben, gar nicht zugeben aus Angst, ihre Aussage könnte (z. B. bei einem Prozess) gegen sie verwendet werden. Nach deutschem Recht sind die Fahrer ohnehin nicht verpflichtet, sich zum Unfall zu äußern – sie müssen lediglich ihre Personalien angeben; nach US-Recht dürfte dies nicht anders sein.

Wenn also Fahrer nicht von sich aus Fehler zugeben, dann sind sie der Polizei nicht bekannt und stehen auch nicht in der Verkehrsunfallanzeige. Eine Volltextsuche nach bestimmten Schlüsselbegriffen ist daher prinzipiell nicht besonders vielversprechend, da es eine hohe Dunkelziffer an

Fehlern gibt, die dadurch unentdeckt bleibt. So ist es auch nicht erstaunlich, dass Wierwille und Tijerina lediglich auf eine Quote von 1.12 Prozent aller Unfälle kamen, bei denen visuelle Ablenkung eine Rolle spielte (2816 „Treffer“ bei 251 171 durchsuchten Unfallberichten). Dies bedeutet umgekehrt, dass Wierwille und Tijerina über 98 Prozent aller Verkehrsunfälle mit ihrer Methode *nicht* erklären können.

Dennoch ist diese Studie sehr interessant, weil sie die erste ist, die visuelle Ablenkung so detailliert untersuchte und weil sie eine Fülle von Dingen auflistet, die während der Fahrt die Aufmerksamkeit des Fahrers auf sich zogen und damit zur Unfallentstehung beitrugen. Die Angabe der Häufigkeiten der Ablenkungen bezüglich dieser einzelnen Objekte ermöglicht auch, ungefähr abzuschätzen, welche *relative* Bedeutung diese Fehler haben – auch wenn die absolute Häufigkeit nicht bekannt ist. So konnte z. B. gezeigt werden, dass Radios, Spiegel, lose Objekte im Fahrzeug sowie Interaktionen mit anderen Personen oder Tieren im Verhältnis zu anderen Ursachen besonders häufige Quellen der visuellen Ablenkung sind (Wierwille und Tijerina, 1995, S. 166 f.).

Aus diesem Grund war diese Studie auch ein wichtiger Anhaltspunkt für die Konstruktion des für die vorliegende Untersuchung verwendeten Fragebogens: Alle Quellen visueller Ablenkung, die Wierwille und Tijerina ausfindig gemacht hatten, wurden in den Fragebogen mit aufgenommen und die Fahrer wurden beim Interview gefragt, ob sie kurz vor dem Unfall auf diese Objekte gesehen hatten oder sie (z. B. Bedieneinrichtungen) bedient hatten.

Die gleiche Methode wie Wierwille und Tijerina benutzte auch schon Perel (1976 und 1988). Er untersuchte, welche Rolle Fehler bei der Pedalbenutzung für Verkehrsunfälle spielen und kam auf einen Anteil von 0.11 Prozent (128 Treffer bei 114 896 Unfällen). In Wirklichkeit dürfte diese Zahl jedoch deutlich höher liegen. Es gelten auch hier die bereits oben angeführten methodischen Einwände hinsichtlich der Verwendung von Polizeiberichten für die Unfallforschung.

Auf derselben Unfalldatenbank wie die Ergebnisse von Wierwille und Tijerina beruhen auch die Ergebnisse von Stutts et al. (2001), die ebenfalls den Einfluss von mangelnder Aufmerksamkeit untersuchten und Unfälle aufgrund visueller Ablenkung mit einem Kategoriensystem von 13 Quellen der Ablenkung (z. B. Reiz außerhalb des Fahrzeugs, Bedienung der Unterhaltungselektronik, anderer Fahrzeuginsasse usw.) klassifizierten. Dadurch konnten sie Aussagen über die relative Bedeutung dieser einzelnen Quellen für die Unfallverursachung machen (Stutts et al., 2001, S. 11).

Ablenkung ist bei Stutts et al. selbst wiederum eine von fünf Kategorien, nach denen sie den Zustand des Fahrers (driver attention status) zum Unfallzeitpunkt klassifizierten. Insgesamt 8.3 % aller Unfälle konnten die Autoren mit ihrer Methode der Analyse von Polizeiberichten auf Ablenkung während des Fahrens zurückführen. Die meisten Unfallursachen jedoch konnten sie damit nicht erklären: Rund die Hälfte aller Fahrer war nach ihrer Statistik zum Unfallzeitpunkt (angeblich) aufmerksam (was die Frage aufwirft, warum der Unfall dennoch passierte) und bei mehr als einem Drittel der Fahrer war deren Aufmerksamkeitsstatus unbekannt.

Bei den Ergebnissen von Stutts et al. gelten dieselben Einschränkungen wie für die Arbeit von Wierwille und Tijerina (1995): Die Methodik der automatisierten Suche nach einzelnen Schlagwörtern in Polizeiberichten ist sehr grob. Funktionsabläufe können dadurch nicht beschrieben werden, so dass auch eine ins Detail gehende Fehleranalyse nicht möglich ist. Da keine eigenen Interviews mit den Verunfallten geführt wurden, waren dadurch in den Unfallberichten prinzipiell auch nur solche Fehler zu finden, die die Fahrer freiwillig der Polizei erzählten. Da sie sich durch solche Angaben selbst belasteten, muss davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der Fehler oder Verstöße verschwiegen wurde und dadurch durch die Methodik von Stutts et al. nicht gefunden werden konnte.

2.2 Fahrerassistenzsysteme

Als ein Mittel zur Reduzierung von Verkehrsunfällen werden in Fahrerassistenzsysteme große Hoffnungen gesetzt. Ihre Palette reicht vom bereits heute weit verbreiteten Navigationssystem über Systeme zur Längs- und Querführung des Autos bis hin zu Systemen, die die Sicht des Fahrers verbessern oder seine Aufmerksamkeit überwachen. Sie sollen zu einer erhöhten aktiven Sicherheit beitragen, indem sie Defizite bei der Aufnahme und Verarbeitung der relevanten Fahrerinformationen beseitigen, Fehlhandlungen des Fahrers vermeiden helfen, die Folgen von dennoch auftretenden Fahrfehlern mildern und die Beanspruchung des Fahrers durch Über- oder Unterforderung abbauen.

In dieser Arbeit wird durch die Analyse realer Unfälle untersucht, welches Unfallvermeidungspotenzial Fahrerassistenzsysteme tatsächlich haben. Zudem werden anhand der untersuchten Einflussgrößen für die Unfallverursachung Handlungsempfehlungen gegeben, die bei der Gestaltung und Auslegung dieser Systeme berücksichtigt werden sollten, um das Unfallrisiko wirksam zu reduzieren.

Im Folgenden werden diese Systeme kurz vorgestellt und ihre Funktionsweise erläutert.

2.2.1 Automatische Notbremse

Die *Automatische Notbremse* gehört zu den Kollisionsvermeidungssystemen (*Collision Avoidance System*, CAS), mit deren Hilfe Zusammenstöße zwischen Fahrzeugen vermieden bzw. gemildert werden sollen.

Bei der Automatischen Notbremse registriert ein Radarsensor oder eine im Fahrzeug montierte Kamera das Verkehrsgeschehen. Eine spezielle Software berechnet aus den Geschwindigkeiten, Beschleunigungen bzw. Verzögerungen und Bewegungsrichtungen von eigenem Fahrzeug und einem Hindernis (z. B. einem vorausfahrenden Fahrzeug) den Zeitpunkt, ab dem eine Kollision unvermeidbar ist. Ist dieser erreicht, löst das System automatisch eine Vollbremsung aus (Scheu-

nemann, 2004, S. 77 ff).

Bei einem einfacheren, speziell für Lkw entwickelten System von Daimler-Chrysler (*PROTECTOR*), wird der Abstand zu einem Hindernis per Radar gemessen. Erfolgt keine Reaktion seitens des Fahrers, greift *PROTECTOR* ein und bringt entweder das Fahrzeug zum Stehen oder bremst es bei bewegten Hindernissen wie vorausfahrenden, langsameren Fahrzeugen durch eine Vollbremsung so ab, dass ein Zusammenstoß verhindert werden kann. Bei einer Differenzgeschwindigkeit von unter 50 km/h (entspricht ca. 90 % der Lkw-Auffahrunfälle) können mit diesem Notbremssystem Auffahrunfälle komplett vermieden werden und bei höheren Differenzgeschwindigkeiten kann die kinetische Energie des Lkw zumindest stark gesenkt und damit die Unfallfolgen reduziert werden (Daimler-Chrysler, 2000a).

Die derzeit auch für Pkws entwickelten Notbremssysteme mit optischer Bilderkennung sind flexibler als ein radarbasiertes System. Bei entsprechend intelligenter und schneller Bilderkennung wäre es auch möglich, andere Hindernisse als vorausfahrende Fahrzeuge zu erkennen, wie beispielsweise auf derselben Spur entgegenkommende oder von der Seite kommende Autos, verlorene Ladung, Wild auf der Fahrbahn oder bei einem vorherigen Abkommen drohende Kollisionen mit Bäumen und ähnlichem.

Ein kritischer Punkt ist der Umgang mit Fehlauslösungen: Was passiert, wenn das Fahrzeug eine Vollbremsung auslöst, obwohl es dafür gar keinen oder keinen ausreichenden objektiven Grund gibt (z. B. ein kleines Tier quert die Fahrbahn)? Wie groß ist das Risiko, dass nachfolgende Fahrzeuge durch die plötzliche Vollbremsung in einen Auffahrunfall verwickelt werden? Aufgrund dieser bislang noch ungeklärten (auch haftungsrechtlich relevanten) Fragen werden vermutlich die ersten ANB-Systeme eine Notbremsung nur dann auslösen, wenn ein Unfall in jedem Fall (auch bei einer Vollbremsung des Fahrers) unvermeidbar ist. Daher werden die ersten ANB-Systeme zunächst keine Unfälle verhindern, sondern nur Unfälle in ihrer Schwere reduzieren. Ein nächster Schritt wird dann sein, *ANB* so auszulegen, dass Kollisionen nicht nur abgeschwächt sondern ganz vermieden werden. In einem weiteren Schritt kann die ANB-Software dann so programmiert werden, dass das System nicht nur Vollbremsungen in letzter Sekunde macht, sondern quasi „vorausschauend" reagiert und schon rechtzeitig vorher die Geschwindigkeit reduziert. Diese Funktion wird möglich durch die „Verschmelzung" der Automatischen Notbremse mit einem weiteren Kollisionsvermeidungssystem, nämlich der *Adaptive Cruise Control* (*ACC*).

2.2.2 Adaptive Cruise Control

Der Abstandsregel-Tempomaten (*Adaptive Cruise Control*, *ACC*) ist ein Kollisionsvermeidungssystem, das dafür sorgt, dass das Fahrzeug automatisch einen korrekten Sicherheitsabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einhält. ACC ist in einer einfacheren Version bereits für Fahrzeuge der Oberklasse bei einigen Automobilherstellern erhältlich (z. B. Daimler-Chrysler, BMW) (Ehmanns et

al., 2000).

Bei den zur Zeit erhältlichen Systemen strahlt ein Radar-Sensor hinter der Kühlermaske Signale in einem engen Winkel aus. Die von anderen Fahrzeugen reflektierten Signale wertet ein Computer aus und berechnet daraus die sogenannte *Time to Collision (TTC)*, d. h. die Zeit, die bis zu einem Zusammenstoß vergehen würde, wenn die auf Kollisionskurs befindlichen Fahrzeuge ihre Richtung und Geschwindigkeit nicht ändern. Nähert sich ein Fahrzeug einem anderen vorausfahrenden zu stark, dann unterschreitet die TTC einen bestimmten kritischen Wert (z. B. 1.5 Sekunden) und die Elektronik reduziert automatisch durch Wegnehmen von Gas oder leichtes Bremsen die Geschwindigkeit. Vergrößert sich der Abstand wieder, beschleunigt das System selbständig auf eine zuvor eingestellte Wunschgeschwindigkeit. Der Abstandsregel-Tempomat ist damit eine Weiterentwicklung des bekannten „einfachen" Tempomaten, der eine eingestellte Geschwindigkeit zwar halten oder auf diese beschleunigen, jedoch nicht automatisch bremsen kann (Scheunemann, 2004, S. 76 ff).

Die *Time to Collision* ist in einem begrenzten Rahmen durch den Fahrer einstellbar. Je nach Fahrstil bzw. Risikoakzeptanz des Fahrers kann er somit einen größeren oder kleineren Sicherheitsabstand automatisch einhalten. Das Bremsen erfolgt jedoch immer nur mit einer begrenzten maximalen Stärke, z. B. einem Fünftel der größtmöglichen maximalen Verzögerung. Eine Kollision ist damit ohne ein Eingreifen des Fahrers nicht vermeidbar. Bei den derzeitigen Abstandregel-Tempomaten ist die Vermeidung von Kollisionen also nach wie vor die Aufgabe des Fahrers. Die jetzigen Systeme sind daher als Komfortsysteme zu bezeichnen, die das Fahren angenehmer und stressärmer machen sollen, und nicht als Sicherheitssysteme, die das Entstehen von Unfällen verhindern.

Ein kritischer Punkt ist dabei der Moment, an dem durch das System eine Übernahmeaufforderung (z. B. Warnton) zu eigenem Bremsen an den Fahrer erfolgen muss, weil die von ACC automatisch zu Verfügung gestellte Bremskraft nicht ausreicht, um einen Auffahrunfall zu vermeiden. Denn dabei besteht das Risiko, dass der Fahrer nach einer längeren Phase entspannten Fahrens und möglicherweise sogar der Unterforderung von der plötzlichen Gefahrensituation überrascht wird und nicht mehr rechtzeitig und angemessen reagieren kann.

Durch Einstellen einer sehr kurz bemessenen *Time to Collision* ist es bei derzeitigen Systemen sogar möglich, dass der Fahrer den geringst möglichen Sicherheitsabstand einstellt, der seine (momentanen) Fähigkeiten übersteigt (z. B. bei alten, übermüdeten oder durch ein Gespräch stark abgelenkten Fahrern). In einem solchen Fall wird das Unfallrisiko vermutlich eher noch gesteigert anstatt gesenkt.

Bei den sich derzeit in der Entwicklung befindenden ACC-Systemen soll zum einen die Abstandserkennung nicht mehr durch Radar erfolgen, sondern auf optischem Weg, da diese Methode flexibler ist und auch eine Anwendung in komplexeren Verkehrssituationen wie im Stadtverkehr ermög-

licht. Zum anderen soll der Automatisierungsgrad zunehmen und das Bremsen zunehmend Sache des Assistenzsystems werden. Durch eine Kombination von *Adaptive Cruise Control* mit der Automatischen Notbremse sollen Fahrzeuge künftig rechtzeitig vorher ihre Geschwindigkeit reduzieren und durch „intelligentes“ Bremsen so verzögern, dass Auffahrunfälle möglichst vollständig reduziert werden.

2.2.3 Spurassistenzsystem (Lane Departure Warning / Heading Control)

Spurassistenzsysteme, sind Fahrerassistenzsysteme, die verhindern sollen, dass ein Fahrzeug von der Fahrspur abkommt. Es wird unterschieden zwischen Systemen, die den Fahrer warnen, wenn er die Spur zu verlassen droht (*Lane Departure Warning*, *LDW*) und Systemen, die einen automatischen Lenkeingriff vornehmen bzw. dem Fahrer einen Lenkimpuls in die richtige Richtung geben (*Heading Control*, *HC*).

Bei Spurassistenzsystemen nimmt eine Kamera, die z. B. hinter der Windschutzscheibe angebracht ist, den vor dem Fahrzeug liegenden Fahrbahnbereich auf. Eine spezielle Software erkennt die Position des Fahrzeugs innerhalb der Spur, indem sie sich an den Fahrbahnrandmarkierungen orientiert (weiße Linien an Straßenrändern sowie Mittellinien). Aus Faktoren wie der Spurbreite, dem Abstand des Fahrzeugs zu den Begrenzungslinien, der Geschwindigkeit und dem eingeschlagenen Lenkwinkel berechnet ein Computer die sogenannte *Time to Line Crossing* (*TLC*), d. h. die Zeit, die vergehen würde, bis das Fahrzeug eine Begrenzungslinie überschreiten würde, unter der Annahme, dass der Fahrer Geschwindigkeit und Lenkwinkel nicht verändert (Anund, 2002, S. 60). Wird ein bestimmter kritischer Wert unterschritten, reagiert das System durch Ausgabe einer Warnung oder durch einen Lenkeingriff.

Als Art der Warnung bei *Lane Departure Warning* sind mehrere Möglichkeiten denkbar: Beim Spurassistenten von Daimler-Chrysler, der für Lkw und Omnibusse bereits seit dem Jahr 2000 auf dem europäischen Markt erhältlich ist, erfolgt die Warnung akustisch. Dabei ertönt ein „Nagelbandrattern“ – ein Geräusch, wie es der Fahrer vom beim Überfahren von Markierungspunkten an Baustellen kennt. Das Geräusch wird über die Audioanlage des Fahrzeugs ausgegeben, so dass der Fahrer das Signal aus dem rechten Lautsprecher hört, wenn er nach rechts von der Spur abzukommen droht, oder aus dem linken Lautsprecher, wenn er nach links abzukommen droht (Daimler-Chrysler, 2000a). Das Warnsignal hat damit neben dem Warneffekt auch zugleich einen Aufforderungscharakter, indem es dem Fahrer einen Hinweis gibt, in welche Richtung er lenken muss. Es begünstig damit ein intuitiv richtiges Reagieren des Fahrers.

Eine andere Warnmöglichkeit ist ein Vibrieren des Lenkrads. Dies ist ebenfalls eine gut geeignete Warnmöglichkeit, da auch dieses Signal einen hohen Aufforderungscharakter hat und der Fahrer dadurch – im Gegensatz zu einem beliebigen Warnton oder gar zu einer optischen Warnung auf einem Display – intuitiv weiß, dass er etwas an der Lenkung korrigieren muss.

Bei dem von BMW entwickelten Spurassistenzsystem besteht die Reaktion des Systems bei einem drohenden Abkommen von der Fahrbahn in einem Lenkimpuls in die richtige Richtung. Dieser allein reicht jedoch nicht aus, um ein Abkommen zu vermeiden. Die Verantwortung bleibt trotzdem beim Fahrer, denn nur wenn dieser selbst mitlenkt, fährt das Fahrzeug richtig. Zudem hat er dennoch die Möglichkeit, den Lenkimpuls des Systems zu übersteuern und – z. B. in einer Notsituation, in der ein absichtliches Fahren von der Straße notwendig ist, um noch schlimmere Unfallfolgen zu vermeiden – dennoch in die andere Richtung zu lenken.

Da Spurassistenzsysteme nach dem bisherigen Stand der Technik auf das Vorhandensein von Fahrbahnrandmarkierungen angewiesen sind, funktioniert es nicht auf Fahrbahnen ohne diese Markierungen (z. B. schlecht ausgebaute Ortsverbindungsstraßen auf dem Land). Technische Probleme bereiten auch Randmarkierungen, die stark verwittert sind, von Gras oder Büschen überwachsen, von Laub überdeckt oder durch einen häufigen Wechsel von Licht und Schatten für das System schwer zu erkennen sind.

Zudem sind Spurassistenzsysteme bisher nur für Straßen außerhalb von Ortschaften ausgelegt, da innerhalb von Ortschaften Spurwechsel (z. B. bei Abbiegevorgängen) sehr häufig sind und auch nicht (dem System) über das Setzen des Blinkers angezeigt werden. Dadurch würde es in diesen Situationen häufig zu Fehlwarnungen kommen.

Lane Departure Warning wird daher in zahlreichen Situationen nicht zur Verfügung stehen, auch in solchen, in denen der Fahrer dies wünscht. Zudem dürfte der Fahrer subjektiv andere Kriterien für eine gute Erkennbarkeit des Fahrbahnverlaufs haben als die, die für ein technisches System relevant sind. Eine Straße, der er subjektiv als gut erkennbar empfindet, kann für *Lane Departure Warning* z. B. aufgrund starker Licht-Schatten-Kontraste nicht erkennbar sein. Dadurch kann der Fahrer eine falsche Erwartungshaltung besitzen und vertraut möglicherweise auf das Funktionieren des Spurassistenzsystems, obwohl dieses in dieser Situation gar nicht funktionieren kann. Besonders wichtig ist daher, dass der Fahrer jederzeit leicht erkennen kann, in welchem Modus (in Bereitschaft oder momentan nicht funktionsfähig) sich das System befindet.

2.2.4 Telematik-Steuerung

Bei den Telematik-Steuerungs-Systemen, wie sie derzeit von BMW (*ConnectedDrive*) oder DaimlerChrysler (*Position Aware Safety System*, *Pass*) entwickelt werden, macht sich das Fahrzeug die Satellitennavigation zunutze. So wie bei einem Navigationssystem als Orientierungshilfe „kennt" das Fahrzeug durch GPS-Signale seine exakte Position und gleicht diese mit Informationen über die zu fahrende Strecke ab. Diese sind auf einer CD gespeichert und beinhalten Angaben über Steigungen, Kurven und Breiten sämtlicher Straßen. Fährt beispielsweise ein Fahrzeug zu schnell auf eine Kurve zu, so kann der Fahrer rechtzeitig gewarnt werden. Bei *Pass* von Daimler-Chrysler greift das System sogar in Bremsung und Lenkung ein (Wüst, 2000, S. 173). Damit hat das System

eine ähnliche Wirkung wie *Lane Departure Warning* bzw. *Heading Control*.

Prinzipiell wäre es möglich, auf den digitalisierten Karten auch Informationen über Verkehrsvorschriften (z. B. Höchstgeschwindigkeiten oder Vorfahrtsregelungen) zu speichern. Der Wirkungsbereich wäre damit ähnlich wie bei der Verkehrszeichenerkennung (s. u.). Das Fahrzeug „wüsste" dann beispielsweise, wenn es sich auf einer Strecke befindet, auf der „Tempo 80" gilt, selbst dann, wenn das Verkehrsschild nicht lesbar ist, (weil es z. B. zugeschneit ist) oder wüsste, wenn es sich in einem Bereich mit „Rechts vor Links"-Regelung befindet.

Ein derzeitiges technisches Problem ist, dass die Lokalisierung über GPS (= Global Positioning System) (noch) zu ungenau ist. Um das Fahrzeug exakt auf seiner Fahrbahnhälfte zu führen, muss die Satellitennavigation das Fahrzeug mit einer Genauigkeit von Zentimetern lokalisieren können. Bislang liegt die Genauigkeit noch im Bereich von Metern. Dies könnte sich jedoch in den nächsten Jahren durch das von der EU vorangetriebene Satellitensystem *Galileo* ändern. Dieses europäische System soll im Gegensatz zum amerikanischen GPS-System eine weitaus größere Genauigkeit erlauben. Zwar liefert prinzipiell auch GPS eine größere Genauigkeit, doch wird diese von den USA nur für (eigene) militärische Zwecke verwendet; für den zivilen Bereich werden die GPS-Signale absichtlich verschlechtert.

Die vollständige Abhängigkeit von den Signalen der Satelliten sind ein möglicher Schwachpunkt der Telematik-Steuerung, da es möglich ist, Satellitensignale z. B. zu militärischen Zwecken absichtlich zu stören. Bei automatischen Lenk- und Bremseingriffen könnten die Folgen solch falscher Satellitensignale verheerend sein. Ein weiterer Nachteil ist, dass (wie auch ein Navigationssystem) eine Telematik-Steuerung nur für bestimmte auf dem Datenträger digital erfassten Gebiete zur Verfügung steht. Die prinzipiellen Vorteile der Telematik-Steuerung im Vergleich zu Systemen wie *Lane Departure Warning* oder Verkehrszeichenerkennung sind jedoch die Unabhängigkeit von Lichtverhältnissen, Witterung oder Fahrbahnzustand.

2.2.5 Aufmerksamkeitskontrolle

Einschlafen am Steuer ist eine der häufigsten Unfallursachen – insbesondere bei Unfällen mit Schwerverletzten und Getöteten. Laut einer Studie des *Gesamtverbandes der deutschen Versicherungswirtschaft* (*GDV*) sind allein ein Viertel aller Autobahnunfälle mit Getöteten auf Übermüdung am Steuer zurückzuführen (GDV, 2000a). Gefährdet sind v. a. Fahrer, die lange Strecken auf monotonen Straßen zurücklegen, wie beispielsweise Berufskraftfahrer auf Autobahnen. Um die hohen Zahlen der Müdigkeitsunfälle zu reduzieren, werden technische Systeme entwickelt, die in der Lage sind, Anzeichen von Müdigkeit beim Fahrer zu erkennen und ihn über seinen Zustand zu informieren und zu warnen.

Bei der Aufmerksamkeits- oder Müdigkeitskontrolle fokussiert eine (z. B. am Rückspiegel montierte) Kamera das Gesicht des Fahrers. Eine spezielle Software erkennt automatisch die Augen des

Fahrers und verfolgt ihre Bewegungen. Dreht der Fahrer seinen Kopf (z. B. beim Rangieren), erfasst die Kamera seine Augen erneut, sobald er seinen Blick wieder nach vorne gerichtet hat (BMW, 2002).

Zur Diagnose von Müdigkeit gibt es mehrere physiologische Maße. Als für die Praxis am geeignetsten haben sich jedoch drei Parameter erwiesen, nämlich die Frequenz und die Geschwindigkeit der Lidschläge sowie der Öffnungsgrad der Augen: Ein wacher Mensch macht weniger und schnellere Lidschläge. Je müder er wird, desto häufiger treten Lidschläge auf und desto langsamer werden sie. Gleichzeitig nimmt der Öffnungsgrad der Augen ab (Hargutt & Tietze, 2000; Wüst, 2003; Wierwille, Lewin & Fairbanks, 1996). Aus diesen Daten schließt ein Rechenalgorithmus auf den momentanen Grad der Müdigkeit. Ergänzt werden können diese psychologischen Daten durch Fahrzeug-Daten wie z. B. ein häufiges Abweichen von der zu fahrenden Ideallinie und damit seltenere, aber dafür umso stärkere Lenkkorrekturen.

Wenn das System Müdigkeit diagnostiziert hat, besteht die Frage, wie der Fahrer gewarnt werden soll. Im Gegensatz zu Gefahren wie einem drohenden Abkommen von der Fahrbahn oder einem Auffahrunfall, bei denen die Gefahr offensichtlich ist, ist es bei der Müdigkeitskontrolle besonders schwierig, den Fahrer so zu warnen, dass er eine solche Warnung ernst nimmt und sein Verhalten entsprechend ändert, z. B. indem er eine Pause einlegt oder ein „Nickerchen“ macht. Bei diesem System muss damit gerechnet werden, dass der Fahrer eine Warnung nicht ernst nimmt, weil er sich selbst noch für genügend fahrtüchtig hält, oder dass er seine Ermüdung durchaus selbst wahrnimmt, aber dennoch weiterfährt, weil er sein Ziel möglichst schnell erreichen möchte. Daher muss eine geeignete Warnstrategie nicht nur das Ziel verfolgen, den Fahrer über seinen Müdigkeitszustand zu informieren, sondern muss auch zu einem gewissen Grade „Überzeugungsarbeit“ leisten, um ihn zu einer Verhaltensänderung zu bewegen – allerdings ohne den Fahrer zu bevormunden.

Die diskutierten Warnkonzepte sind vielfältig und über die Eignung bestimmter Maßnahmen besteht bislang noch keine Einigkeit. Sicher vorhanden wird eine mehrstufige optische Müdigkeitsanzeige sein (z. B. wach, aufmerksamkeitsgemindert, müde und schläfrig) (BMW, 2002; Marberger & Wenzel, 2003, S. 23; Färber & Färber, 2000, S. 22). Bei erkannter leichter Müdigkeit können optische (z. B. LED-Anzeige), akustische (z. B. geeignete Warntöne, wie Rumble-Stripes-Geräusch aus den Lautsprechern) und haptische Signale (z. B. Lenkrad- und Sitzvibrationen) eingesetzt werden. Bei stärkerer Müdigkeit kann der Fahrer von einer Stimme auf die Art der Gefahr („Sie sind müde!“, „Ihr Fahrstil ist unsicher!“) sowie auf mögliche Konsequenzen hingewiesen werden („Es ist wahrscheinlich, dass Sie einen schweren Unfall verursachen!“) und es können Handlungsempfehlungen gegeben werden („Bitte halten Sie bei der nächsten Gelegenheit und machen Sie eine kurze Pause/Nickerchen!“).

Denkbar ist auch, dass der Fahrer automatisch vom Navigationssystem die nächsten in seiner Fahrtrichtung liegenden Parkplätze, Raststätten und Hotels angezeigt bekommt. Umstritten sind

Maßnahmen, die die Aufmerksamkeit des Fahrers so gut es geht aufrechterhalten sollen, wie beispielsweise zusätzliche Nebenaufgaben zu „Beschäftigung“, sogenannte *Landström-Sounds* (= an Zwölftonmusik erinnernde zufallsgenerierte Tonfolgen, vgl. Landström, Englund et al., 1999), Menthol-Geruch oder die Ausgabe von Koffein-Tabletten aus einem Spender. In jedem Fall aber muss die Warnstrategie adaptiv sein, d. h. sie muss flexibel sein und sich mit Warnmeldungen unterschiedlicher Intensität an sich verändernde Müdigkeitsgrade des Fahrers anpassen.

2.2.6 Night Vision

Bei Dunkelheit ereignen sich ca. 23 % aller Verkehrsunfälle und 36 % aller Unfälle mit Getöteten, obwohl das Verkehrsaufkommen bei Nacht viel geringer ist als am Tag (Bundesamt für Statistik, 2002, S. 96; Wördenweber, Lachmayer & Witt, 1996). Verantwortlich dafür werden neben der Übermüdung des Fahrers v. a. schlechte Sichtbedingungen aufgrund von Dunkelheit gemacht. Die Sichtweite mit eingeschaltetem Abblendlicht ist gering und wird zudem von vielen Fahrern falsch eingeschätzt. Mit Fernlicht kann wegen Blendung von anderen entgegenkommenden Verkehrsteilnehmern nicht immer gefahren werden.

Abhilfe sollen Nachtsichtsysteme (*Night Vision*) schaffen, die dem Fahrer auf einem Bildschirm einen Ausschnitt der vor ihm liegenden Strecke darstellen und im Bildinhalt Dinge sichtbar machen, die er mit bloßem Auge nicht erkennen kann. *Night Vision*-Systeme arbeiten mit Hilfe von Infrarot-Kameras und lassen sich – abhängig vom Funktionsprinzip – nach zwei Arten unterscheiden, nämlich nach passivem Ferninfrarot-System und aktivem Nahinfrarot-System.

Bei einem passiven Ferninfrarot-System werden Objekte anhand Eigenwärme detektiert. Eine spezielle Kamera erkennt Objekte anhand der Infrarotstrahlung (Bereich sieben bis zwölf Mikrometer), die von allen warmen Massen ausgestrahlt wird. Je wärmer ein Objekt ist, desto heller wird es auf dem Display dargestellt. Starke Wärme geht von allen Lebewesen (z. B. Fußgänger, Radfahrer, Wild) und von Fahrzeugen (insbesondere von Reifen und Scheinwerfern aus). Dieses System ist damit eher geeignet, Lebewesen auf der Fahrbahn sichtbar zu machen, bevor sie durch die Beleuchtung durch das Abblendlicht erkennbar werden. Ein großer Nachteil dieses Systems besteht aber darin, dass Objekte, die keine Temperaturunterschiede zu ihrer Umgebung aufweisen, wie beispielsweise Fahrbahnmarkierungen, auch nicht differenziert wahrgenommen werden können.

Diese Einschränkung hat das aktive Nahinfrarot-System nicht, da es eine eigene Infrarot-Lichtquelle besitzt. Spezielle Infrarotscheinwerfer an der Fahrzeugfront senden Infrarotstrahlen in einem Bereich von ca. 820 Nanometer aus, das von der Umgebung reflektierte Licht wird von einer speziellen Kamera gefilmt und auf einem Display sichtbar gemacht (Daimler-Chrysler, 2000b). Dieses Prinzip hat den Vorteil, dass damit nicht nur warme Objekte, sondern der gesamte Fahrbahnbereich vor dem Fahrer in einem Bereich bis 150 Meter sichtbar gemacht werden kann.

Es besteht nicht die Gefahr, dass das emittierte Licht andere Verkehrsteilnehmer blendet, da das

Infrarotlicht für das menschliche Auge (nahezu) unsichtbar ist. Zudem können bei der Darstellung auf dem Display Blendungen durch Scheinwerfer des Gegenverkehrs durch die Verwendung von optischen Filtern und technischen Tricks (z. B. gepulstes Infrarot-Laserlicht) erheblich reduziert werden.

Ein Problem von *Night Vision* ist die Darstellung des Bildinhaltes (Bossi et al., 1997). Ein zusätzliches Display lenkt den Blick des Fahrers von der Straße ab; ein *Head-up Display*, bei dem das Bild auf die Windschutzscheibe projiziert wird, wäre geeigneter, hat aber den Nachteil, dass dadurch ein Teil der Fahrbahn verdeckt wird. Beiden Anzeigen gemeinsam ist, dass das Auge des Fahrers gezwungen ist, ständig zwischen Nahbereich (Anzeige) und Fernbereich (Fahrbahn) umzufokussieren. Außerdem kann auf einen kleinem Display auch nur ein begrenzter Bildausschnitt dargestellt werden, denn bei einem zu großen Bildausschnitt würde die Darstellung so stark verkleinert, dass Details nicht mehr erkennbar wären. Betrachtet der Fahrer einen weiter in der Ferne liegenden Ausschnitt der Fahrbahn, der ihm auf dem Display präsentiert wird, vernachlässigt er automatisch den vor dem Fahrzeug liegenden Nahbereich. Mehr Sicht in die Ferne wird somit durch geringere Aufmerksamkeit auf den Nahbereich „erkauft" (Chaloupka et al., 1998).

2.2.7 Adaptives Kurvenlicht

Ein einfacher als *Night Vision* zu realisierendes System, das ebenfalls die Sicht bei Dunkelheit verbessert, ist das sogenannte „Kurvenlicht". Unter unterschiedlichen Namen ist es bereits bei einigen Automobilherstellern erhältlich, z. B. *Aktives Kurvenlicht* (Daimler-Chrysler), *Adaptives Kurvenlicht* (BMW) oder *Adaptive Forward Lighting* (Opel).

Bei herkömmlichen Fahrzeugen sind die Scheinwerfer fest mit der Karosserie verbunden. Dies ist unproblematisch, solange das Fahrzeug geradeaus fährt. Befindet sich dagegen der Fahrer in einer Kurve, leuchten die Scheinwerfer weiterhin geradeaus, jedoch nicht auf die zu fahrende Fahrspur. Verstärkt wird das Problem dadurch, dass die Augen des Fahrers nicht schnell genug an die Dunkelheit adaptieren können. Insbesondere beim Abbiegen besteht dadurch die Gefahr, dass mögliche Gefahren (z. B. Hindernisse) zu spät wahrgenommen werden.

Aus diesem Grund haben die ersten Automobilhersteller schwenkbare Scheinwerfer entwickelt. Bei diesen Systemen richten sich automatisch mitlenkende Scheinwerfer auf den Straßenverlauf aus, so dass der Fahrer den vor ihm liegenden gut ausgeleuchteten Fahrbahnabschnitt besser erkennen kann. Die Kurvenlicht-Scheinwerfer sind in der Lage, bis zu 15 Grad nach rechts oder links zu lenken und werden von einem elektrischen Schrittmotor bewegt. Die Informationen über das Ausmaß und die Geschwindigkeit, mit der die Scheinwerfer bewegt werden müssen, erhält das System aus Fahrzeugdaten wie Lenkwinkel, Gierrate und Fahrgeschwindigkeit (Ippen, 2003).

Durch dieses Adaptive Kurvenlicht kann die Sicht in Kurven deutlich verbessert werden. Während in einer normalen Kurve auf der Landstraße mit einem Kurvenradius von 190 Metern das Abblend-

licht nur etwa 30 Meter weit reicht, erweitert sich durch die mitlenkenden Scheinwerfer der Sichtbereich auf etwa 55 Meter.

Andere Hersteller (z. B. Opel) ergänzen die beweglichen Scheinwerfer noch durch ein zusätzliches „Abbiegelicht“, das beim Abbiegen automatisch zugeschaltet wird und die Straße ausleuchtet, in die der Fahrer einbiegen möchte. Dadurch können mögliche Hindernisse (z. B. querende Fußgänger) deutlich früher erkannt werden als mit herkömmlichen Scheinwerfern.

Im Vergleich zu anderen Fahrerassistenzsystemen ist das Adaptive Kurvenlicht technisch relativ einfach zu realisieren – auch aus ergonomischer Sicht bereitet seine Umsetzung wenig Probleme. Allerdings ist auch das Potenzial zur Vermeidung schwerer Unfälle bei weitem nicht so groß, wie z. B. bei Systemen wie *Adaptive Cruise Control* oder *Lane Departure Warning*.

2.2.8 Verkehrszeichenerkennung

Während bei der Telematik-Steuerung das Fahrzeug durch GPS-Signale „weiß“, an welchem Ort es sich befindet und seine Informationen über seine Fahrumwelt aus einer digital gespeicherten Karte erhält, ist bei der Verkehrszeichenerkennung das System autonom und erkennt selbst die in der Fahrumwelt angebrachten Verkehrsschilder.

Dabei wird der vor dem Fahrzeug liegende Bereich der Fahrumwelt mit einer Kamera aufgenommen. Eine spezielle Software detektiert in dem aufgenommenen Bildmaterial Verkehrsschilder und kann den Fahrer bei Bedarf informieren, warnen oder in das Fahrgeschehen eingreifen (zu Details vgl. Scheunemann, 2004, S. 75 f). Eine technische Herausforderung ist es dabei, dass ein Schild auch dann erkannt werden muss, wenn es perspektivisch verzerrt von der Kamera erfasst wird. Eine Abhilfe schaffen netzwerkartige Systeme, die „lernfähig“ sind und dadurch auf das Aussehen eines Verkehrszeichens aus verschiedenen Perspektiven trainiert werden können. Auf diese Weise erkennt das System auch dann z. B. ein Stoppschild, wenn es von der Seite oder von unten gefilmt wird.

Der Vorteil gegenüber der Telematik-Steuerung ist, dass die Verkehrszeichenerkennung Schilder selbständig erkennen kann, also nicht angewiesen ist auf die Informationen einer mehr oder weniger aktuellen, digitalisierten Straßenkarte. Dies bedeutet, dass auch neu aufgestellte Schilder, z. B. an Baustellen, erfasst werden. Dasselbe gilt für Verkehrsschilder im (fernen) Ausland, für die bei der Telematik-Steuerung erst eine entsprechende digitalisierte Karte des jeweiligen Landes notwendig wäre.

Nach dem Erkennen von Verkehrsschildern durch das System, besteht die Möglichkeit, den Fahrer auf ein Verkehrszeichen hinzuweisen bzw. eine Warnung auszugeben. Auf welche Art die Information dem Fahrer mitgeteilt wird (z. B. optisch durch Einblenden des jeweiligen Zeichens im Display des Bordcomputers) oder akustisch (z. B. durch einen Warnton beim Überschreiten einer vorge-

schriebenen Geschwindigkeit) und auf welche Weise konkret die Information dargeboten werden soll, ist bisher noch offen.

Von entscheidender Bedeutung für die Nützlichkeit und die Akzeptanz eines solchen Systems wird sein, inwieweit die Verkehrszeichenerkennung in der Lage ist, situationsabhängig zwischen „wichtigen“ und „unwichtigen“ Verkehrszeichen zu unterscheiden. Sicherlich keinen Nutzen brächte es, wenn dem Fahrer alle in der Fahrumwelt vorhandenen Verkehrszeichen auch noch einmal zusätzlich auf einem Display angezeigt würden – die mentale Belastung würde dadurch nur zunehmen. Entsprechende Filterregeln sind also notwendig: Beispielsweise wäre es denkbar, nur über bestimmte Schilder zu informieren, wie „Vorfahrt gewähren!“-Schilder oder Stoppschilder. Eine Warnung (z. B. zusätzlicher Warnton) könnte nur dann erfolgen, wenn der Fahrer gerade gegen eine Verkehrsregel verstößt (z. B. die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit überschreitet) oder gerade im Begriff ist, gegen eine Vorschrift zu verstoßen (z. B. den Blinker setzt, obwohl ein Gebotsschild ihm das Abbiegen verbietet). In Ausnahmefällen wäre es theoretisch auch denkbar, automatisch in das Fahrgeschehen einzugreifen, beispielsweise durch eine Bremsung vor einem Stoppschild.

2.2.9 Fußgängererkennung

Allein in der EU werden jedes Jahr mehr als 6.000 Fußgänger durch Verkehrsunfälle getötet und 150.000 werden verletzt (Schuh, 2001). Um diese hohen Zahlen zu reduzieren, wird ein Fahrerassistenzsystem entwickelt, die durch ein optisches Früherkennen und rechtzeitiges Warnen bzw. automatisches Notbremsen Kollisionen mit Fußgängern vermeiden soll.

Das derzeit am weitesten entwickelte System zur Erkennung von Fußgängern ist der *Urban Traffic Assistent* (*UTA*) von Daimler-Chrysler. Die größte Herausforderung ist die Verarbeitung der immensen Datenmengen in Echtzeit. Der erste Schritt dazu ist eine schnelle Detektion, d. h. die Konzentration auf entscheidungsrelevante Bereiche eines aufgenommenen Bildes. Dies wird durch zwei Methoden der optischen Früherkennung erreicht, nämlich den optischen Fluss und die Stereobildtechnik. Durch eine geschickte Verknüpfung der zu berechnenden Informationen kann eine schnelle Reduktion auf das Wesentliche, nämlich drohende Kollisionen mit Fußgängern, erreicht werden.

Zur Verfolgung des optischen Flusses nimmt eine Kamera hinter der Windschutzscheibe die gesamte Verkehrssituation in Einzelbildern auf und eine spezielle Software berechnet aus den Einzelbildern die Verschiebung jedes markanten Punktes von einer Aufnahme zur nächsten. Für die Stereobildtechnik nehmen zwei Kameras, die im Abstand von 30 Zentimetern am Rückspiegel montiert sind, das Verkehrsgeschehen auf. Die Software errechnet aus der Verschiebung von markanten Punkten vom rechten Bild zum linken ein direktes Maß für die Distanz. Auf diese Weise kann eine dreidimensionales Bild einen Bereich von 60 Metern präzise berechnet werden.

Eine weitere verwendete Methode ist das sogenannte *Tracking*: Es ermöglicht, das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer über längere Zeiträume zu beobachten und vorherzusagen. Dazu verfolgt eine Software ein bestimmtes Objekt (z. B. einen Fußgänger) in einer Bildersequenz und berechnet daraus relativ zum eigenen Fahrzeug Geschwindigkeit, Beschleunigung und Verzögerung des Objekts. Da aufgrund des Massenträgheitsgesetztes bewegte Objekte nicht beliebig ihre Richtung ändern können, kann das System auch die Bewegungsrichtung eines Verkehrsteilnehmers vorausberechnen.

Die notwendige Bilderkennung in Echtzeit wird dadurch erreicht, dass die von der Kamera erfassten Muster stark vereinfacht werden (z. B. typisches Bewegungsmuster der Beine von Fußgängern) und vom Rechner mit zuvor „antrainierten" Mustern verglichen wird. Der *Urban Traffic Assistant* von Daimler-Chrysler ist dadurch in der Lage, innerhalb einer Millisekunde 80 % und innerhalb von fünf Millisekunden 95 % aller Fußgänger zu erkennen.

Schwierig an der Fußgängererkennung ist, dass das System insbesondere im Stadtverkehr mit sehr komplexen Verkehrssituationen zurecht kommen muss. Es muss Fußgänger auf der Straße von solchen auf Gehwegen unterscheiden, muss die beabsichtigte Fahrtrichtung des Autofahrers mit berücksichtigen (z. B. beim Abbiegen) usw. Es wird sich zeigen müssen, wie Autofahrer mit Fehlalarmen umgehen, welche Konsequenzen bei irrtümlichen automatischen Vollbremsungen auftreten können und inwieweit es zu Verhaltensadaptationen kommt, z. B. zu unvorsichtigerem und schnellerem Fahren in einer Spielstraße.

2.2.10 Spurwechselassistent

Der Spurwechselassistent ist ein Assistenzsystem, das den Fahrer beim Wechseln von Fahrspuren unterstützt. Dazu überwachen eine bzw. mehrere im Fahrzeug angebrachte Kameras den Nahbereichsraum hinter und neben dem Fahrzeug. Teilweise werden auch seitliche Radarsensoren an den Heckstoßfängern eingesetzt (Daimler-Chrysler, 2002b, S. 53). Eine Software erkennt sich nähernde andere Verkehrsteilnehmer und deren Relativgeschwindigkeit zum eigenen Fahrzeug. Beabsichtigt ein Fahrer einen Fahrspurwechsel (z. B. auf Autobahnen oder beim Überholen auf Landstraßen), wird er vom System gewarnt, wenn dadurch eine Gefahr durch von hinten kommende Fahrzeuge entstehen würde.

Solche Gefahren sind beispielsweise ein Fahrzeug im Toten Winkel, das sich mit geringerer Geschwindigkeit nähert, ein Fahrzeug in einem weiter hinterliegenden Bereich, das sich mit hoher Geschwindigkeit nähert oder auch ein Radfahrer auf der Fahrbahn oder einem Radweg, mit dem es bei einem Rechtsabbiegevorgang zu einer Kollision kommen könnte.

Als Warnsignale sind optische, akustische und haptische Reize denkbar. Zur Information des Fahrers, dass ein Spurwechsel im Moment nicht möglich ist, wäre ein optisches Signal am Außenspiegel (z. B. Lämpchen, Leuchtdioden) möglich und als Warnsignal bei einem beabsichtigen Spur-

wechsel – für das System erkennbar am gesetzten Blinker – ist ein geeigneter Warnton oder ein Vibrieren des Lenkrads möglich.

Der größte Vorteil des Spurwechselassistenten, nämlich die Überwachung des gefährlichen Toten Winkels, birgt zugleich auch die Gefahr einer Verhaltensadaptation seitens des Fahrers. Durch blindes Vertrauen in das Funktionieren des Systems könnte mancher Fahrer den Blick in den Außenspiegel oder den Schulterblick ganz unterlassen.

2.2.11 Sonstige Fahrerassistenzsysteme

Die wichtigsten in der Entwicklung befindlichen Fahrerassistenzsysteme wurden oben beschrieben. Der Vollständigkeit halber sei jedoch kurz auf einige weitere Systeme hingewiesen:

Kreuzungsassistent

Der *Kreuzungsassistent* bzw. *Innenstadtassistent* ist kein eigenes Assistenzsystem, sondern ein von Daimler-Chrysler geprägter Oberbegriff für mehrere Einzelsysteme wie z. B. Fußgängererkennung, Ampelerkennung, Verkehrszeichenerkennung und Überwachung des Toten Winkels.

Warnsysteme bei Aquaplaning und Glatteis

Unfälle durch Aquaplaning oder Glatteis sollen künftig „intelligente Reifen“ reduzieren, wie sie derzeit vom Reifenhersteller *Continental* oder am Bonner Forschungszentrum *Caesar* entwickelt werden. Dafür sollen Sensoren in den Gummi des Reifenprofils eingebettet werden, die über die Reifenverformung sowie die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn den Fahrbahnzustand erkennen. Diese Information kann zum einen als Warnung an den Fahrer ausgegeben werden (z. B. „Achtung, Glatteis!“) und zum anderen können gezielte automatische Bremseingriffe erfolgen (z. B. über ESP). Außerdem kann der Fahrer gewarnt werden, wenn der Reifendruck zu stark abfällt und dadurch ein erhöhtes Unfallrisiko besteht (Hollenbach, 2001).

Bremsassistent

Um den Bremsweg bei Vollbremsungen in Gefahrensituationen zu verkürzen, werden Bremsanlagen durch zusätzliche Sensorik optimiert. Nimmt beispielsweise ein Fahrer abrupt seinen Fuß vom Gaspedal, so erkennt das System eine Panikreaktion und legt durch einen leichten Hydraulikimpuls die Bremsbeläge näher an die Bremsscheiben an. Dadurch bereitet sich die Bremsanlage auf eine mögliche Vollbremsung vor, die dann um Bruchteile einer Sekunde früher umgesetzt werden kann (Wüst, 2000, S. 173).

Zusätzlich registriert ein Sensor die Geschwindigkeit, mit der der Fahrer auf das Bremspedal tritt. Wird es schnell gedrückt, schließt das System daraus, dass der Fahrer eine Vollbremsung machen möchte, und baut den maximalen Bremsdruck auf – selbst dann, wenn der Fahrer nicht mit genügend großer Kraft die Bremse betätigt. Dies ist insofern sinnvoll, da viele Autofahrer in Notsituationen zwar schnell, aber nicht kräftig genug auf das Bremspedal treten, wodurch der Bremsweg verlängert wird.

Auch die schlechtere Bremswirkung bei Regen soll durch intelligente Technik reduziert werden. Bisher setzt die volle Verzögerungskraft immer erst einige Radumdrehungen zu spät ein, weil die nasse Bremsscheibe durch die Bremsbeläge erst trockengerieben werden muss. Daher soll in Zukunft die Bremsanlage bei Nässe ein Signal vom Regensensor des Scheibenwischers erhalten. Dadurch werden die Bremsbeläge mit sehr geringem Druck an die Bremsscheibe angelegt, wodurch sich die Bremsanlage aufgrund der leichten Reibung von selbst trocken wischt.

Durch diese technischen Ergänzungen kann der Bremsweg zwar um einige Meter verkürzt werden, der zu erwartende Sicherheitsgewinn ist allerdings bei weitem nicht so groß wie durch Systeme wie die Automatische Notbremse oder *Adaptive Cruise Control*.

2.3 Theoretische Modelle der Fahrzeugführung und ihr Nutzen zur Klassifikation von Fahrerassistenzsystemen

2.3.1 Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung

Das Führen eines Fahrzeugs ist eine sehr komplexe Tätigkeit, bei der mehrere Prozesse gleichzeitig ablaufen. Für eine Analyse von Fehlern und für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, die helfen sollen solche Fehler zu vermeiden oder zu korrigieren, ist es daher notwendig, verschiedene Aspekte der Fahraufgabe differenziert zu betrachten.

Eine verbreitete Unterscheidung ist das *Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung*, (Bernotat, 1970; Michon, 1985; Erke, 1993), das die Fahraufgabe in drei Ebenen aufteilt:

1. Navigationsebene
2. Führungsebene
3. Stabilisierungsebene

Auf der obersten Ebene, der *Navigationsebene*, legt der Fahrer die Fahrtroute fest. Er muss bei der Entscheidung für die Wahl seiner Strecke bestimmte Aspekte berücksichtigen, wie beispielsweise die zu erwartende Fahrzeit, die zu bestimmten Tageszeiten (z. B. wegen Berufsverkehr) unterschiedlich sein kann, den Fahrtzweck, eventuelle Zwischenziele oder die Sicherheit einer Strecke (z. B. mit welcher Wahrscheinlichkeit im Winter dort gestreut ist). Während der Fahrt kann es zudem notwendig werden, eine Alternativroute zu bestimmen, z. B. bei einem Stau auf der geplanten

Route.

Die *Führungsebene* ist dadurch charakterisiert, dass hier die Fahrtroute umgesetzt wird. Die Fahrweise wird dem Straßenverlauf und dem umgebenden Verkehr angepasst. Die Führungsebene schließt damit Teilaufgaben wie das Abbiegen an Kreuzungen, das Überholen, den Wechsel von Fahrspuren und das Reagieren auf Verkehrszeichen mit ein.

Auf der untersten Ebene, der *Stabilisierungsebene*, kontrolliert der Fahrer seine Geschwindigkeit und den Abstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen (= Längsführung) sowie die Abstände des Fahrzeugs nach links und rechts in der Fahrspur (= Querführung) durch Gas geben, Bremsen, Lenken, Kuppeln und Schalten.

Die drei Ebenen stellen unterschiedliche Anforderungen an den Fahrer. Auf der *Navigationsebene* erfolgt das Festlegen einer bestimmten Route bewusst und beansprucht ein hohes Maß an kognitiver Anstrengung. Auch die Tätigkeiten auf der *Führungsebene* erfolgen auf einem bewussten Level. Hier geht es um die Wahrnehmung und die Interpretation von Verkehrssituationen, das Beachten von Verkehrsregeln und die entsprechende Ausrichtung von Handlungen. Der Grad an Bewusstheit und die Beanspruchung mentaler Ressourcen sind jedoch in der Regel nicht so groß wie bei Tätigkeiten auf der Navigationsebene. Auf der Stabilisierungsebene hingegen werden hoch automatisierte Tätigkeiten ausgeführt, die dem Fahrer im einzelnen Ablauf meist gar nicht bewusst sind und daher auch nur sehr geringe mentale Kapazität beanspruchen.

Prozesse, die bewusst ablaufen, d. h. Aufmerksamkeit erfordern (z. B. das Finden eines Ziels in einer unbekannten Stadt), laufen seriell ab, sind langsam und arbeitsaufwendig. Es besteht für die Prozesse nur eine begrenzte Kapazität (Zimmer, 1997). Automatisch und unbewusst ablaufende Prozesse dagegen gehen schnell und ohne Anstrengung vonstatten; selbst mehrere Tätigkeiten sind parallel durchführbar.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Eigenschaften bewusster und automatischer Kontrolle (nach Reason, 1988, zit. nach Zimmer, 1997, S. 17)

Bewusste Kontrolle	**Automatische Kontrolle**
Seriell	Parallel
Langsam	Schnell
Mühevoll	Mühelos
Durch Ressourcen eingeschränkt	Ohne merkliche Einschränkungen
Analytisch	Intuitiv
Große kognitive Durchdringung	Funktion aufgrund einfacher Heuristiken

Prozesse sind bewusstseinsfähig	Prozesse liegen außerhalb der bewussten Aufmerksamkeit; nur die Ergebnisse sind bewusstseinsfähig
Unumgänglich notwendig, um mit neuen Situationen zurechtzukommen, aber nur für beschränkte Zeit einsetzbar	In der Lage Routine- und Wiederholungstätigkeiten zu steuern, oft ineffektiv, wenn Änderungen erfolgen

Die folgende Grafik veranschaulicht die unterschiedlichen kognitiven Anforderungen für Tätigkeiten auf den jeweiligen Ebenen einer Fahraufgabe. Am stärksten beanspruchen Tätigkeiten auf der Navigationsebene (z. B. das Zurechtfinden in einer fremden Stadt) die Aufmerksamkeit des Fahrers. Am geringsten sind die Anforderungen auf der Stabilisierungsebene (z. B. Schalten und Kuppeln).

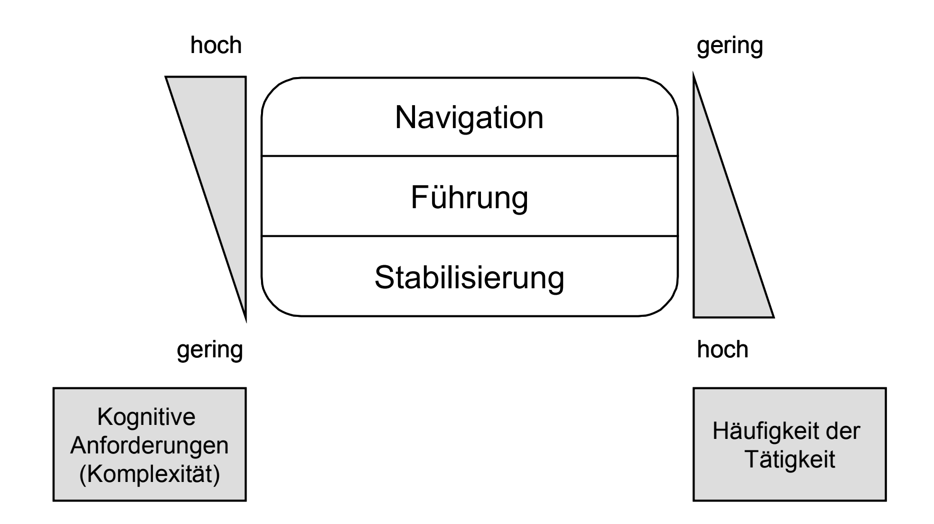


Abbildung 2: Grad der Komplexität und Häufigkeit von Tätigkeiten, die für die jeweilige Ebene im Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung kennzeichnend sind (Reichart & Haller, 1995, S. 200)

Dafür sind andererseits Tätigkeiten auf der Stabilisierungsebene besonders häufig. Denn eine bestimmte Route zum Ziel festlegen muss der Fahrer nur zu Fahrtbeginn und sich dann hin und wieder bei bestimmten Knotenpunkten z. B. an Wegweisern orientieren – und bei sehr gut bekannten Strecken entfällt die Navigationsaufgabe sogar ganz. Kuppeln und schalten, das Fahrzeug in der Spur halten, Gas geben und bremsen ist zwar nur wenig anstrengend, aber dafür muss der Fahrer diese Tätigkeiten permanent und gleichzeitig ausführen, so dass dies in der Summe ebenfalls beanspruchend ist.

Für die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen bedeutet dies, dass eine Entlastung des Fahrers durch sehr verschiedene Systeme auf unterschiedlichen Ebenen der Fahraufgabe möglich ist.

Ein Navigationssystem unterstützt ihn z. B. auf der Navigationsebene beim Finden eines Ziels in einer unbekannten Gegend, so dass der Fahrer die freiwerdenden mentalen Ressourcen zur Konzentration auf den Verkehr verwenden kann. Ebenso kann dies jedoch erreicht werden, indem man ihn von den zahlreichen Tätigkeiten auf der Stabilisierungsebene entlastet, z. B. durch ein Automatikgetriebe, das ihm das Kuppeln und Schalten abnimmt oder durch ACC, das automatisch einen Mindestabstand zum Vordermann einhält.

2.3.2 Das Modell des wissens-, regel- und fähigkeitsbasierten Verhaltens von Rasmussen

Die hierarchische Gliederung sowie der Grad an Bewusstheit und Komplexität der Handlungen ähneln dem Handlungsmodell von Rasmussen (1983). Er unterteilt Verhalten in drei Ebenen:

- *Wissensbasiertes* Verhalten (knowledge-based behavior): bewusst gesteuerte, auf analytischen Prozeduren beruhende Verhaltensweisen
- *Regelbasiertes* Verhalten (rule-based behavior): Anwendung gelernter Regeln, z. B. Wenn-dann-Regeln
- *Fähigkeitsbasiertes* Verhalten (skill-based behavior): hochgeübte Verhaltensweisen, Routinehandlungen, die automatisiert ohne bewusste Aufmerksamkeit oder Kontrolle ablaufen

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass Tätigkeiten auf der Navigationsebene eher wissensbasiert ablaufen, Tätigkeiten auf der Führungsebene eher regelbasiert und Tätigkeiten auf der Stabilisierungsebene eher fertigkeitsbasiert. Wie die folgende Tabelle zeigt, gibt es jedoch auch durchaus Abweichungen von dieser Faustregel.

Tabelle 2: Zusammenhang den Stufen des Handlungsmodells nach Rasmussen (1983) und den Ebenen der Fahraufgabe: Beispiele

	Wissensbasiert	**Regelbasiert**	**Fertigkeitsbasiert**
Navigation	Zurechtfinden in einer fremden Stadt	Wahl zwischen vertrauten Wegen	Täglicher Weg zur Arbeit
Führung	Steuern auf schneebedeckter oder vereister Fahrbahn	Überholen anderer Fahrzeuge, Spurwechsel	Abbiegen an einer vertrauten Kreuzung
Stabilisierung	Fahrschüler in der ersten Fahrstunde	Ein ungewohntes Auto fahren	Kurven fahren, Kuppeln und Schalten

Die meisten Tätigkeiten beim Autofahren sind in den Feldern der Diagonale von links oben nach

rechts unten angesiedelt. Andererseits macht die Matrix auch deutlich, dass man nicht zu stark verallgemeinern darf, da es genauso Ausnahmen gibt. So verläuft beispielsweise die Planung einer Fahrtroute manchmal auch regelbasiert, nämlich dann, wenn der Fahrer die Wahl zwischen vertrauten Strecken (z. B. „Wenn ein Werktag ist und viel Lkw-Verkehr, dann wähle die längere Route über die Autobahn; wenn Sonntag ist, dann wähle die kürzere Route über die Bundesstraße.“). Dass Tätigkeiten auf der Stabilisierungsebene fertigkeitsbasiert sind, gilt auch nur für den Normalfall, nämlich dann, wenn der Fahrer über ein ausreichendes Fahrkönnen verfügt und mit seinem Fahrzeug vertraut ist. Bei einem Fahranfänger dagegen oder mit einem fremden oder geliehenen Fahrzeug ist die Verhaltenssteuerung eher regelbasiert (z. B. „Bei diesem Auto muss ich beim Anfahren mehr Gas geben und darf die Kupplung nicht so schnell kommen lassen.“).

Beim Vergleich der Tätigkeiten auf den einzelnen Ebenen fällt zudem auf, dass die Zeit, die für die Bearbeitung der einzelnen Aufgaben zur Verfügung steht, unterschiedlich ist: Sie nimmt von der Navigations- über die Führungsebene bis hin zur Stabilisierungsebene ab (Hale et al., 1990, S. 1383). Während bei der Routenwahl vor Fahrtbeginn noch mehrere Minuten zur Verfügung stehen, so sind es auf der Stabilisierungsebene z. B. bei Vollbremsungen in kritischen Situationen nur noch Bruchteile von Sekunden.

2.3.3 Einteilung von Fahrerassistenzsystemen nach Ebene der Fahraufgabe und Grad der Fahrerunterstützung

Fahrerassistenzsysteme können einerseits entsprechend der Ebene der Fahraufgabe und andererseits entsprechend dem Grad der Fahrerunterstützung agieren. Eingeteilt nach dem Grad der Unterstützung lassen sich vier Stufen unterscheiden:

- Information
- Warnung
- Korrigierender Eingriff
- Übernahme der Fahraufgabe

Die folgende Abbildung zeigt die Zuordnung von Assistenzsystemen nach der Ebene der Fahraufgabe sowie dem Grad der Unterstützung.

Tabelle 3: Einteilung von Fahrerassistenzsystemen nach Ebene der Fahraufgabe und Grad der Fahrerunterstützung

Grad der Fahrerunterstützung	Navigationsebene	Führungsebene	Stabilisierungsebene
Information	Navigationssystem, Stau-Info	*Night Vision*, Adaptives Kurvenlicht	
Warnung		Verkehrszeichenerkennung, Aufmerksamkeitskontrolle, Spurwechselassistent	*Lane Departure Warning* (z. B. Lenkradvibration)
Korrigierender Eingriff			*Heading Control* (Lenkeingriff), Telematik-Steuerung, ACC, Fußgängererkennung
Übernahme der Fahraufgabe		Automatisches Fahren	Automatische Notbremse

Die obige Tabelle ist der Übersichtlichkeit halber etwas vereinfacht, denn eigentlich müssten manche Fahrerassistenzsysteme in mehreren Zellen aufgelistet sein. Beispielsweise warnt der Spurwechselassistent nicht nur, wenn der Fahrer eine Überholabsicht durch Setzen des Blinkers anzeigt und ein Überholvorgang aufgrund des nachfolgenden Verkehrs nicht möglich ist, sondern er besitzt auch eine Informationsfunktion, da er z. B. durch ein Lichtsignal im Außenspiegel und/oder dem Fahrer permanent anzeigt, ob sich gerade ein Fahrzeug im Toten Winkel befindet oder nicht. Setzt der Fahrer trotz Warnung dennoch zum Überholvorgang an, wäre auch ein automatischer Lenkeingriff zur Vermeidung des Unfalls denkbar. Das Ausmaß der Fahrerunterstützung durch das System ist also flexibel und abhängig von der jeweiligen Situation.

Andere Autoren wie z. B. Haller (2001, S. 32) oder Ehmanns et al. (2000, S. 4) ordnen Systeme wie *Lane Departure Warning* oder *ACC* nicht der Stabilisierungsebene, sondern der Führungsebene zu. Dies erscheint jedoch etwas fragwürdig angesichts des äußerst beschränkten Funktionsumfangs des Spurhaltens und Abstandhaltens, so schwierig diese Systeme auch technisch umzusetzen sein mögen. Komplexere Aufgaben auf der Führungsebene wie z. B. das Einbiegen in eine Straße beherrschen diese Systeme nicht. Daher wurden sie hier der Stabilisierungsebene zugeteilt.

2.4 Probleme von Fahrerassistenzsystemen mit hoher Fahrerunterstützung

2.4.1 Neue Anforderungen an den Fahrer durch Überwachung des Systemzustands

Da Systeme wie *Lane Departure Warning* oder *ACC* auf der Stabilisierungsebene wirken (siehe oben), bedeutet dies, dass sie den Fahrer von einer Aufgabe entlasten, die ihm eigentlich keine große Anstrengung abverlangt, da sie größtenteils automatisiert und damit unbewusst abläuft. Diese Entlastung hat jedoch ihren Preis: Ein System wie *Lane Departure Warning* funktioniert nicht in jeder Verkehrssituation, sondern nur unter bestimmten Bedingungen (z. B. nur bei höheren Geschwindigkeiten außerorts, nur bei vorhandener und gut erkennbarer Fahrbahnrandmarkierung). Dies bedeutet, dass es häufig Situationen gibt, in denen das System dem Fahrer nicht zur Verfügung steht und daher die ihm zugeteilten Aufgaben nicht erfüllen kann. Daraus ergibt sich das Problem, dass der Fahrer zu jedem Zeitpunkt wissen muss, in welchem Zustand sich das System befindet, damit er nicht in Situationen mit einer Unterstützung rechnet, in denen das System dies gar nicht leisten kann.

Dem Fahrer kommt damit die zusätzliche Aufgabe zu, den Zustand des Assistenzsystems überwachen zu müssen (*supervisory control*, vgl. Sheridan, 1992). Dies ist nicht unproblematisch, da es bedeutet, dass die Entlastung von unbewusst erledigten Aufgaben auf der Stabilisierungsebene erkauft wird durch eine zusätzliche Kontrollaufgabe. Diese Überwachung des Systems erfolgt jedoch – im Gegensatz zur Spurhaltung – bewusst und erfordert damit ein höheres Maß an Aufmerksamkeit. Diese Gefahr sieht auch Haller:

> Da ein erheblicher Teil der an Assistenzsysteme delegierbaren Aufgaben vom geübten Fahrer unbewusst bzw. teilbewusst ausgeführt wird, darf die Hinzunahme eines Assistenten nicht zu einer Verlagerung dieser Aktivitäten auf die bewusste Ebene führen. Der ansonsten erlebte Kontrollaufwand führt dann zu keiner Beanspruchungsreduktion, sondern allenfalls zu einer Verschiebung, die nicht unbedingt positiv erlebt wird. (Haller, 2001, S. 34)

2.4.2 Die Übernahme-Problematik beim Übergang vom assistierten in den nicht assistierten Zustand

Abgesehen von einer wie auch immer gestalteten Anzeige, an der der Fahrer zu jedem Zeitpunkt den aktuellen Systemzustand ablesen können muss, besteht jedoch auch die Notwendigkeit, den Fahrer rechtzeitig und angemessen zu warnen, wenn das Assistenzsystem von einem Zustand, in dem es notfalls eingreifen könnte, in einen Zustand übergeht, in dem keine Assistenz möglich ist. Hier ist zusätzlich ein geeignetes Warnsignal nötig, das jedoch wiederum eine bewusste Verarbeitung erfordert und damit auch potenziell ablenkend sein kann.

Aufgrund der großen technischen Herausforderung bei der Realisierung von Assistenzsystemen funktionieren diese oft dann am besten, wenn der Fahrer ihre Hilfe am wenigsten braucht, z. B. in wenig komplexen, stark standardisierten Fahrumwelten bei guten Sichtverhältnissen, wie tagsüber

auf der Autobahn. In diesen Situationen, in denen sich das System Fahrer-Fahrzeug-Straße in einem voraussagbaren Zustand befindet, lässt sich aus technischer Sicht zwar am leichtesten eine Automatisierung oder Assistenz erreichen, jedoch ist dies oft gar nicht unbedingt wünschenswert, da der Fahrer in solchen Situationen ohnehin oft *unter*fordert ist.

Eine zusätzliche Entlastung durch Fahrerassistenzsysteme führt dadurch nur zu einer weiteren Absenkung seiner Aktivierung weg von einem optimalen, mittleren Erregungsniveau (vgl. Yerkes-Dodson-Funktion, 1908, in der leistungsphysiologischen Interpretation von Cannon, 1932).

> Dieses daraus resultierende sehr niedrige Aktivitätsniveau wird besonders dann kritisch, wenn z. B. der Kraftfahrer plötzlich auf eine komplexe Verkehrssituation reagieren muss und darüber hinaus gleichzeitig die bisherige Automatisierung bzw. Assistenz wegfällt: Hier wird ohne Übergang von einer Unterforderungssituation mit dem entsprechenden niedrigen Aktivierungsniveau zur Überforderungssituation mit einem extrem hohen Aktivierungsniveau geschaltet. (Zimmer, 2001, S. 47)

2.4.3 Grundsätzliche Probleme für den Benutzer bei der Automatisierung von Tätigkeiten

Sarter, Woods und Billings (1997, S. 1926-1943) haben eine Reihe grundsätzlicher Probleme bei der Automatisierung von Tätigkeiten aufgezeigt, deren Probleme ebenso auf den Straßenverkehr und die Gestaltung von Fahrerassistenzsystemen übertragbar sind. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht; eine Diskussion dieser generellen Aspekte anhand konkreter Fahrerassistenzsysteme für das Fahrzeug findet sich in den Kapiteln 5.1 bis 5.3.

Tabelle 4: Vergleich der Erwartungen von Entwicklern neuer Automatisierungstechniken mit Problemen, die in der Praxis auftreten (Sarter et al., 1997, S. 1942; zit. nach Übersetzung von Zimmer, 2001, S. 48)

Erwarteter Nutzen	**Probleme in der Praxis**
Reduziert die physischen Anforderungen der Arbeitstätigkeit (Entlastung der Ressourcen)	Ersetzt physische Anforderungen durch neue kognitive Anforderungen häufig mit zeitkritischem Charakter (Verschiebung der Belastung, evtl. sogar Vergrößerung)
Reduziert die Aufmerksamkeitsanforderungen	Erfordert das aktive Nachvollziehen der Systemaktivitäten und die Integration mehrfacher Tätigkeiten und Veränderungen in der Systembedienung
Erfordert weniger Vorwissen	Erfordert andere Formen des Wissens und der Bedienungsfertigkeiten
Arbeitet autonom	Erfordert eine enge Kopplung zwischen Menschen und Maschinen, ohne diese z. B. durch Systemtransparenz zu unterstützen
Integriert alle relevanten Informationen	Erfordert neue und komplexere Formen der Rückmeldung, damit der Operateur erkennen kann, in welchem Kontext welches Signal informativ ist
Ermöglicht eine grundsätzliche Flexibilität und damit eine bessere Anpassung an den Nutzer	Die Fülle von Eigenschaften, Optionen und Modalitäten führt zu neuen, kognitiven Anforderungen, Fehlermöglichkeiten und Szenarien des Systemversagens
Reduziert die Fehleranfälligkeit des menschlichen Operateurs	Entstehung neuer Formen von Fehlfunktionen aufgrund von Störungen in der Mensch-Maschine-Koordination (z. B. die Übernahmeproblematik)

2.5 Spezifische und unspezifische Wirkungen von Fahrerassistenzsystemen

Inwieweit ein Fahrerassistenzsystem einen Zugewinn an Verkehrssicherheit mit sich bringt, hängt von mehreren Faktoren ab. Es ist daher notwendig ein System hinsichtlich verschiedener Aspekte zu beurteilen. Grundsätzlich unterscheiden lassen sich *spezifische* und *unspezifische* Wirkungen. *Spezifische* Wirkungen sind unmittelbare Auswirkungen des Agierens des Systems sowie die Reaktionen des Fahrers auf Informationen, Warnungen und Eingriffe des Systems. *Unspezifische* Wirkungen sind die mittelbaren Effekte, die sich aus dem Vorhandensein eines Fahrerassistenz-

systems für die Fahrweise ergeben.

Prüfung des Fahrerassistenzsystems auf *spezifische* Wirkungen:

- Leistungsaspekt: Wie verändert sich die Qualität des Fahrens?
- Kognitiv-energetischer Aspekt: Wie verändert sich der Fahrerzustand?
- Aspekt der Verhaltensanpassung: Wie verändert sich das Fahren in den Situationen, für die das System gemacht ist?

Prüfung des Fahrerassistenzsystems auf *unspezifische* Wirkungen:

- Aspekt der kognitiven Repräsentation: Situationsbewusstsein, Systemverständnis und Systemvertrauen
- Aspekt der Kompensation: Verwendung freier Ressourcen in andere (Neben-)Aufgaben
- Aspekt unspezifischer Wirkungen: Veränderungen des Fahrens in unspezifischen Situationen

2.5.1 Prüfung des Fahrerassistenzsystems auf *spezifische* Wirkungen

2.5.1.1 Leistungsaspekt

Der *Leistungsaspekt* hängt am unmittelbarsten mit der konkreten Funktionalität des Fahrerassistenzsystems zusammen. So muss beispielsweise bei einem System wie *Lane Departure Warning* überprüft werden, wie sich die Art Fahren durch das Agieren des Systems unmittelbar verändert, z. B. wie der Fahrer reagiert, wenn aufgrund einer Warnung das Lenkrad vibriert, einen Lenkimpuls gibt oder aus den Lautsprechern ein Nagelbandrattern ertönt. Erschrickt er und lenkt er zu stark in die richtige Richtung oder versucht er, reflexartig gegenzulenken, wenn das System ihm einen Lenkimpuls in Richtung Fahrbahnmitte gibt? Wie verändert sich das Fahren in Abhängigkeit der *Time to Line Crossing* (d. h. der Zeit, die vergehen würde, bis das Fahrzeug eine Fahrbahnbegrenzungslinie überfährt; siehe Kapitel 2.2.3), die der entscheidende Parameter für den Zeitpunkt der Warnung ist (früh – mittel – spät)? Solche Fragen müssen vor der Einführung eines Assistenzsystems eingehend in Experimenten im Fahrsimulator und in Versuchsfahrzeugen geklärt werden. Die Ergebnisse daraus können wiederum in eine veränderte technische Auslegung des Systems einfließen.

2.5.1.2 Kognitiv-energetischer Aspekt

Vom *kognitiv-energetischer Aspekt* aus ist bei einem Fahrerassistenzsystem zu bedenken, wie sich der Fahrerzustand hinsichtlich Aktivierungsgrad, Müdigkeit und Aufmerksamkeit verändert. Bei einem Assistenzsystem, das den Fahrer in ohnehin leicht zu bewältigen, monotonen Fahrsituationen von der einfachen Regulierungstätigkeit auf der Stabilisierungsebene entlastet (z. B. *Lane Departure Warning* oder *ACC* auf der Autobahn), ist beispielsweise damit zu rechnen, dass damit der Aktivierungsgrad des Fahrers noch weiter abnimmt (siehe Kapitel 2.4.2, Übernahme-Problematik!). Dadurch steigt das Risiko, dass der Fahrer nicht mehr genügend Aufmerksamkeit auf den Verkehr wendet oder gar einschläft.

Der kognitiv-energetische Aspekt sowie alle anderen folgenden werden in der Regel von den Entwicklern von Fahrerassistenzsystemen zu wenig oder gar nicht bedacht. Sie beschränken sich zumeist „nur" auf den Leistungsaspekt, der allerdings zugegebenermaßen der wichtigste ist und bei der Realisierung eines Assistenzsystems schon kompliziert genug ist. Der Grund mag darin liegen, dass der Entwickler sich lediglich für den einen Aspekt des Fahrens zuständig und verantwortlich fühlt, für den er ein Assistenzsystem entwickelt.

Sekundäre, möglicherweise unerwünschte Effekte auf das Gesamtsystem Fahrer-Fahrzeug-Umwelt interessieren ihn weniger. Wenn z. B. der Fahrer bei einer Autobahnfahrt ermüdet und dadurch einen Unfall verursacht, weil er zuvor wegen der Assistierung durch *Lane Departure Warning* kaum noch gefordert war, dann werden die meisten Techniker die Ursache allein beim Fahrer suchen („menschliches Versagen"), jedoch kaum bei ihrem Assistenzsystem. Ähnliches gilt für die folgenden Aspekte der Wirkung von Assistenzsystemen.

2.5.1.3 Aspekt der Verhaltensanpassung

Ein viel diskutierter Aspekt von Fahrerassistenzsystemen ist die Möglichkeit der *Verhaltensanpassung*. Im Wesentlichen geht es um die Frage der Risikoadaptation, d. h. inwiefern der Fahrer den Zugewinn an Sicherheit durch das Assistenzsystem wieder dadurch zunichte macht, indem er eine riskantere Fahrweise an den Tag legt (z. B. mit einer höheren Geschwindigkeit oder einem geringeren Sicherheitsabstand fährt) oder Situationen sucht, die er zuvor gemieden hat (z. B. mit *Night Vision* bewusst nachts in den Urlaub fahren). Da der Aspekt der Risikoadaptation so wichtig ist, werden konkrete Bedingungen und spezifische Gefahren bezüglich Assistenzsystemen in einem eigenen, späteren Abschnitt erörtert (Kapitel 2.6.4, „Kriterien für die Auftretenswahrscheinlichkeit von Verhaltensadaptationen").

2.5.2 Prüfung des Fahrerassistenzsystems auf *unspezifische* Wirkungen

2.5.2.1 Aspekt der kognitiven Repräsentation

Der Aspekt der *kognitiven Repräsentation* berücksichtigt das *Situationsbewusstsein* des Fahrers (d. h. seine Vorstellungen und Erwartungen bezüglich des durch das System assistieren Fahrens), sein *Systemverständnis* (d. h. sein Wissen über die technische Funktionsweise des Systems) und sein *Vertrauen* auf das System.

Das *Situationsbewusstsein* (situational awareness) könnte zum Beispiel durch *Lane Departure Warning (LDW)* insofern negativ beeinflusst werden, da der Fahrer meinen könnte, er hätte mit LDW eine Fahrhilfe und müsste sich nun weniger auf das Fahren konzentrieren und könnte zumindest mit einer Hand irgendetwas anderes machen, weil eine Hand am Lenkrad völlig ausreiche.

Sein *Systemverständnis* könnte insofern fehlerhaft sein, als er möglicherweise ein in Teilaspekten falsches mentales Modell hat. So könnte er über *Lane Departure Warning* denken: „Wenn ich eine Fahrspur ohne Probleme erkennen kann, dann kann es das Auto auch!“ Der Fehler in der kognitiven Repräsentation liegt darin, dass LDW eine Fahrspur ganz anders erkennt als der Mensch. LDW ist auf das Vorhandensein von Fahrbahnmarkierungen angewiesen; fehlen diese oder sind sie in einem schlechten Zustand, kann die Fahrspur nicht erkannt werden. Für den Menschen sind Bordsteinkanten, Leitplanken oder bis an den Fahrbahnrand reichende Sträucher genauso gute oder sogar bessere Orientierungshilfen – *Lane Departure Warning* hingegen kann damit nichts anfangen. Die Gefahr derartiger fehlerhafter, naiver Alltagstheorien über die Funktionsweise von technischen Systemen liegt darin, dass der Fahrer in einer kritischen Situation mit einer Unterstützung durch das Assistenzsystem rechnet, obwohl es dies aufgrund des Funktionsprinzips gar nicht leisten kann.

Vertrauen in die Funktionsweise eines Assistenzsystems ist für die Akzeptanz durch den Fahrer selbstverständlich notwendig. Problematisch wird es allerdings, wenn der Fahrer dem System zu stark vertraut (= *overreliance, overconfidence*) und sich dadurch unabsichtlich in Gefahr begibt. Ironischerweise ist die Gefahr von *overreliance* umso größer, je besser und zuverlässiger ein Assistenzsystem funktioniert. Aus Sicht der Lerntheorie ist dies völlig plausibel, da der Fahrer ständig positive Erfahrungen mit dem System macht und dadurch eine entsprechende Erwartungshaltung entwickelt. Gleichzeitig nehmen dadurch Verhaltensweisen zu, deren sichere Ausführung das zuverlässige Funktionieren des Systems zur Voraussetzung haben (z. B. geringere Aufmerksamkeit, schnelleres Tempo usw.). Bleibt dann wider Erwarten eine Warnung oder ein Eingriff seitens des Assistenzsystems aus, ist der Fahrer umso mehr überrascht und kann möglicherweise nicht mehr adäquat reagieren.

2.5.2.2 Aspekt der Kompensation

Der Aspekt der *Kompensation* ähnelt dem Aspekt der Verhaltensanpassung. Bei der Frage nach der Risikoadaptation geht es darum, inwieweit der Fahrer den Sicherheitsgewinn durch das System durch riskantere Verhaltensweisen ausgleicht. Dabei steht die Verhaltensweise in einem direkten Zusammenhang mit der Funktionsweise des Assistenzsystem; ein Beispiel: Da der Fahrer mit *Night Vision* weiter sieht, fährt er auch schneller, weil er potenzielle Hindernisse früher erkennen kann.

Der Aspekt der Kompensation ist jedoch unspezifischer: Wenn der Fahrer durch Assistenzsysteme bei der Spurhaltung oder Abstandshaltung entlastet wird, nutzt er möglicherweise die freigewordenen mentalen Ressourcen für andere Nebentätigkeiten, z. B. zum Telefonieren, zur Bedienung seiner Unterhaltungselektronik oder auch nur, um seinen Blick häufiger von der Straße abzuwenden, um sich die Umgebung anzuschauen, anstatt sich noch mehr auf das Verkehrsgeschehen oder andere nicht-assistierte Tätigkeiten zu konzentrieren.

2.5.2.3 Aspekt unspezifischer Wirkungen

Schließlich müssen auch Veränderungen des Fahrens in unspezifischen Situationen als mögliche *unerwünschte Nebenwirkungen* in Betracht gezogen werden. Es ist nicht auszuschließen, dass sich das Fahren mit Fahrerassistenzsystemen auch auf solche Situationen auswirkt, die mit dem Assistenzsystem eigentlich überhaupt nichts zu tun haben. Dennoch ist es möglich, dass der Fahrer durch eine ständige Fahrunterstützung generell zu mehr Bequemlichkeit, Unselbständigkeit, Unaufmerksamkeit oder gar einem Allmachtsgefühl verführt wird. Beispielsweise wäre ein Szenario denkbar, bei dem sich der Fahrer – assistiert von automatischer Spur- und Abstandshaltung, Spurwechselassistent, Verkehrszeichenerkennung und Navigationssystem – komfortabel und stressfrei durch eine unbekannte Stadt führen lässt, dabei jedoch eine ganz banale Einmündung mit Rechts-vor-Links-Regelung übersieht.

2.6 Risikoadaptation

2.6.1 Theoretische Modelle zur Risikoadaptation

Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit lassen sich entsprechend dem Gesamtsystem Mensch-Fahrzeug-Fahrumwelt in drei Kategorien einteilen:

- Maßnahmen, die darauf abzielen, den Fahrer über Gefahren aufzuklären, ihn zu erziehen und seine Fahrfertigkeiten zu verbessern,
- Maßnahmen am Fahrzeug, wie z. B. Fahrerassistenzsysteme und

- Maßnahmen zur Verbesserung der Straßen.

Bei einer Wirksamkeitsuntersuchung solcher Verkehrssicherheitsmaßnahmen stellt sich jedoch nicht selten heraus, dass eine eingeführte Maßnahme ohne Erfolg geblieben ist. In einem solchen Fall haben die Verantwortlichen häufig schnell eine Erklärung zur Hand: Die Ursache sei eine *Risikoadaptation* oder *Risikokompensation* durch die Fahrer. Diese Begriffe, die von mehreren Modellen bzw. Theorien (eigentlich nur Hypothesen) beeinflusst sind, sind zum festen Gedankengut aller geworden, die sich mit der Sicherheit im Straßenverkehr befassen.

Den theoretischen Hintergrund dafür liefern das *Modell der subjektiven und objektiven Sicherheit* von Klebelsberg (1977), die *Theorie des Risikoverhaltens* von Näätänen und Summala (1974), die *Theorie der Risikohomöostase* von Wilde (1982), das *Modell der Risikovermeidung* von Fuller, (1984), das *Feedback-Modell menschlichen Verhaltens* von Evans (1985) sowie das *Hierarchische Risikomodell* von Molen und Bötticher (1988).

Das Gemeinsame an all diesen Modellen ist, dass sie von der Möglichkeit einer Verhaltensadaptation ausgehen, das bedeutet, dass der Fahrer sein Verhalten an veränderte Bedingungen anpasst. Wenn also eine bestimmte Maßnahme ergriffen wurde, die die Sicherheit beim Fahren erhöht, dann ist es möglich, dass dies dadurch wieder zunichte gemacht wird, da der Fahrer auch sein Verhalten so ändert, dass dadurch die Wahrscheinlichkeit von Unfällen wieder steigt (z. B. durch eine höhere Fahrgeschwindigkeit).

Bei der genauen Erklärung dieser Wirkungsweise und beim Einfluss verschiedener moderierender Variablen widersprechen sich diese Modelle teilweise. Dies gilt ebenso für die Prognose der Wirksamkeit von sicherheitserhöhenden Maßnahmen. Die extremste und pessimistischste Hypothese ist die Theorie der Risikohomöostase von Wilde, die postuliert, dass die Sicherheit allein von der Risikoakzeptanz des Fahrers abhängt. Eine Erhöhung der objektiven Sicherheit bewirke (sofern sie vom Fahrer wahrgenommen wird) automatisch, dass der Fahrer sich riskanter verhält, da er immer ein bestimmtes Maß an Risiko akzeptiere. Dieses Maß wolle der Fahrer jedoch auch nicht *unter*schreiten, da er auch ein bestimmtes Reizbedürfnis habe, d. h. (frei formuliert) die richtige Dosis an Gefahr für ihn angenehm sei.

Wilde geht sogar so weit, ein „Gesetz der Erhaltung der Unfallzahl" zu formulieren: „Die Zahl der Unfälle in einem bestimmten Land hängt ausschließlich von der Unfallzahl ab, welche die Bevölkerung bereit ist zu tolerieren, und nicht von den Maßnahmen in anderen Bereichen in diesem Kontrollsystem, wenigstens nicht auf längere Dauer" (zit. nach Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 78 f.). Von allen Risikokompensationstheorien ist die von Wilde am bekanntesten und populärsten, vielleicht gerade deswegen, weil sie am provokantesten ist.

An dieser Stelle wird bewusst darauf verzichtet, die einzelnen Modelle zu beschreiben oder die teilweise feinen Unterschiede zu erläutern. Stattdessen sei auf die oben genannte Originalliteratur verwiesen oder auf Zusammenfassungen der Theorien z. B. bei Pfafferott und Huguenin (1991,

S. 77-80) oder Zimmer (1997, S. 10-16) sowie auf Darstellungen in zahlreichen Lehrbüchern der Verkehrspsychologie.

2.6.2 Kritische Bewertung der Risikoadaptationsmodelle

Für alle genannten Theorien zur Risikoadaptation gilt, dass sie (wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß) in ihren Definitionen eher unbestimmt und allgemein bleiben. Zudem ist es aufgrund der Unschärfe kaum möglich, konkretes Verhalten vorherzusagen. Damit fehlt auch die Möglichkeit einer Falsifizierbarkeit, die eine notwendige Voraussetzung für die Wissenschaftlichkeit einer Theorie ist (Popper, 1966). Die Modelle sind lediglich als Ex-post-Erklärungen zu gebrauchen, wenn es darum geht, zu erklären, warum eine bestimmte Sicherheitsmaßnahme *nicht* gegriffen hat.

Dazu werden sie allerdings umso häufiger und lieber benutzt – häufig auch in leichtfertiger und unangemessener Weise, wie in einer Metaanalyse der OECD (1990) kritisiert wird. Die Autoren weisen darauf hin, dass häufig Misserfolge von Verkehrssicherheitsmaßnahmen pauschal mit dem Hinweis auf Risikoadaptationen seitens der Fahrer abgetan werden. Genauso gut kann es jedoch sein, dass eine Maßnahme gar kein Gewinn für die Verkehrssicherheit war bzw. dass Aufbau und Durchführung einer Evaluation es nicht gestatten, vorhandene Wirkungen empirisch nachzuweisen.

Die OECD-Studie unterscheidet daher zwischen einer *primären* und einer *sekundären* Wirkungsebene (vgl. Abbildung 3).

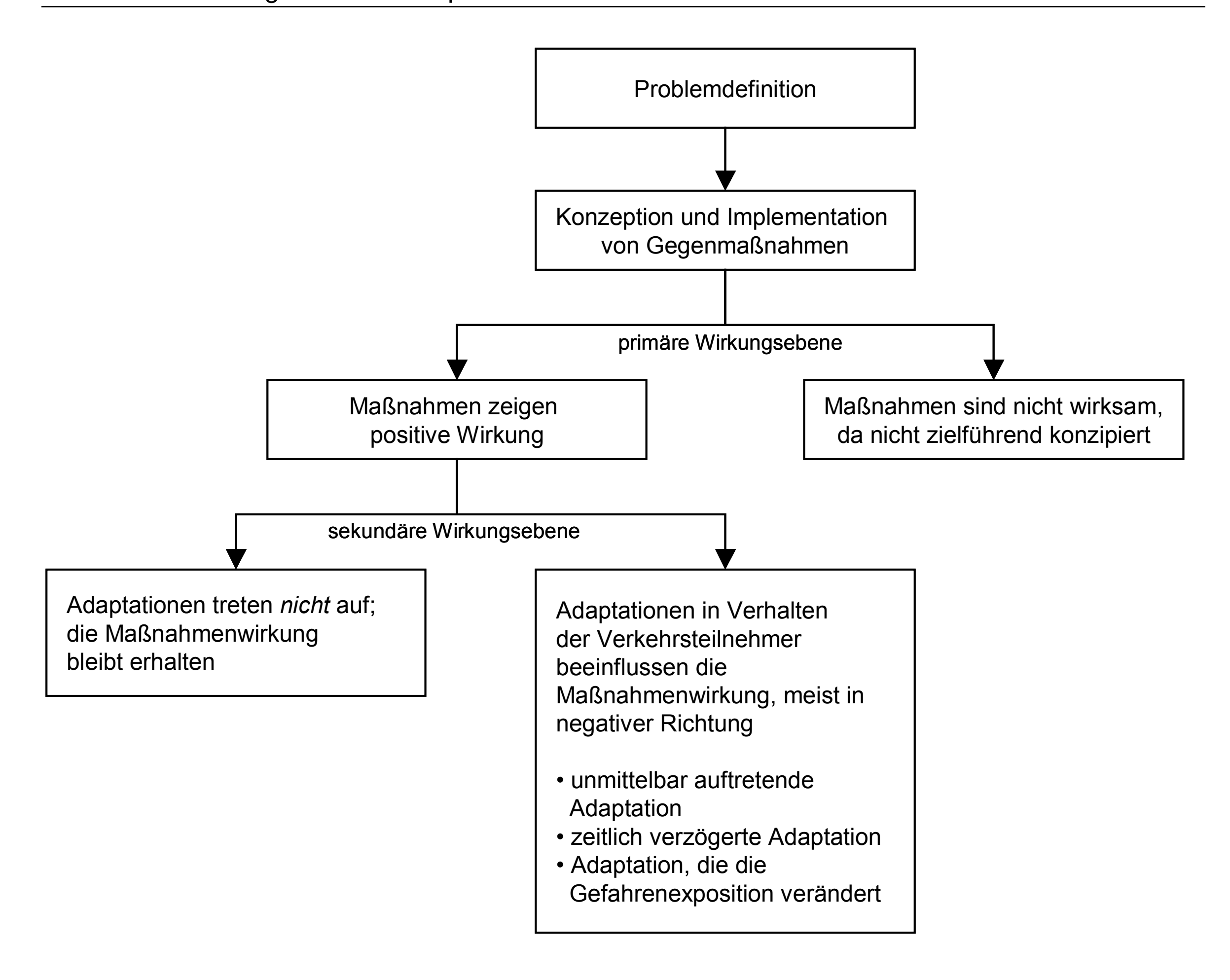


Abbildung 3: Varianten des Adaptationsprozesses bei Einführung von Sicherheitsmaßnahmen. Schematische Darstellung nach Pfafferott und Huguenin, 1991, S. 72

Auf der *primären* Wirkungsebene muss nach der Einführung einer Maßnahme zunächst ermittelt werden, ob dies zu dem gewünschten Effekt geführt hat oder nicht. In der Regel ist das entscheidende Kriterium die Anzahl der Verkehrsunfälle (teilweise auch die Anzahl *schwerer* Unfälle oder die Zahl der Verkehrstoten). Haben die Verbesserungen Wirkung gezeigt, ist in einem zweiten Schritt auf der sekundären Wirkungsebene zu untersuchen, ob Verhaltensadaptationen ausbleiben oder ob sie auftreten, und wenn ja, in welchem Ausmaß. Treten diese *nicht* auf, bleibt die Maßnahmenwirkung voll erhalten; treten sie dagegen auf, dann zumeist in negativer Richtung, d. h. sie schwächt die positive Primärwirkung ab. In aller Regel sind jedoch solche Adaptationen nicht so stark, dass dadurch der positive Effekt der Sicherheitsmaßnahme vollständig nivelliert würde (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 72; Pfafferott, 1992).

Die Autoren betonen, dass sorgfältig zu unterscheiden ist zwischen Verhaltensadaptationen der Verkehrsteilnehmer als Reaktion auf eine wirksame Sicherheitsmaßnahme und einer Maßnahme, die schlichtweg nichts gebracht hat, weil sie nicht zielführend konzipiert war. Pfafferott und Huguenin (1991): „Solange für eine Maßnahme keine Primäreffekte nachgewiesen sind, muß man mit der

Hypothese der Adaptation vorsichtig sein.“

Ein Beispiel: Wurde eine gefährliche Strecke mit hoher Unfallhäufigkeit dadurch „entschärft“, dass z. B. Kurvenradien erweitert oder Fahrspuren verbreitert wurden, dann muss der Sicherheitseffekt durch einen Vergleich der Unfallzahlen zwischen „vorher“ und „nachher“ ermittelt werden. Die Frage nach einer Verhaltensadaptation muss jedoch gesondert untersucht werden, z. B. indem die gefahrenen Geschwindigkeiten oder die eingehaltenen Sicherheitsabstände vor und nach Einführung der Maßnahme gemessen und miteinander verglichen werden.

2.6.3 Empirische Ergebnisse zur Risikoadaptation

Für die Metaanalyse der OECD-Studie wurden zur Klärung der Frage nach Verhaltensadaptationen nur solche Untersuchungen berücksichtigt, die eine entsprechende methodische Qualität aufwiesen. Da diese empirischen Daten sehr interessant und wesentlich aussagekräftiger sind als die einzelnen theoretischen Modelle zur Risikokompensation, seien die wichtigsten Ergebnisse hier kurz tabellarisch aufgelistet. Die Ergebnisse bilden die Grundlage für eine differenzierte, sachlich begründete Beurteilung der einzelnen Fahrerassistenzsysteme hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit von Risikoadaptationen (vgl. Kapitel 5.2).

2.6.3.1 Risikoadaptationen bei verkehrstechnischen Maßnahmen

Wirkungsstudien zu verkehrstechnischen Maßnahmen weisen überwiegend positive Verbesserungen auf, wie die Tabelle 5 zeigt. Hinweise auf Adaptationen sind hier selten. Im Gegensatz dazu ist es bei Beeinflussungsmaßnahmen jedoch nur selten überhaupt gelungen, Wirkungen am Unfallkriterium nachzuweisen. Hinweise auf Adaptationen sind damit erst recht die Ausnahme (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 5: Sicherheitseffekt, Einfluss und Richtung von Adaptationen infolge verkehrstechnischer Maßnahmen. Ergebnisse der Metaanalyse der OECD (1990), (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 73)

Sicherheitsmaßnahme	**Sicherheitseffekt insgesamt**	**Einfluss der Adaptation**	**Richtung der Adaptation**
Verbreiterung von Fahrstreifen	eindeutig positiv	nachgewiesen	positiv und negativ
Verbreiterung von Randstreifen	eindeutig positiv	nachgewiesen	positiv
Mittelmarkierungen	negativ und positiv	nicht nachgewiesen	–
Randmarkierungen	positiv	nachgewiesen	positiv und negativ
Beleuchtung von Hauptverkehrsstraßen	eindeutig positiv	nicht nachgewiesen	–
Autobahnbeleuchtung	positiv	vermutet	möglicherweise negativ
Verbesserte Sichtweite	eindeutig positiv	vermutet	möglicherweise negativ

2.6.3.2 *Risikoadaptationen bei Beeinflussungsmaßnahmen*

Tabelle 6: Sicherheitseffekt, Einfluss und Richtung von Adaptationen infolge von Beeinflussungsmaßnahmen. Ergebnisse der Metaanalyse der OECD (1990), (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 76)

Sicherheitsmaßnahme	**Sicherheitseffekt insgesamt**	**Einfluss der Adaptation**	**Richtung der Adaptation**
Aufklärungskampagnen	vermutet	nicht nachgewiesen	–
Erziehung	schwach positiv	nicht nachgewiesen	–
Training der Fahrgeschicklichkeit	möglicherweise negativ	vermutet	negativ
Gesetzgebung und Überwachung	nachgewiesen	nicht nachgewiesen	positiv und negativ

Für die Frage nach möglichen Verhaltensadaptationen bei Fahrerassistenzsystemen sind aller-

dings die empirischen Daten der OECD-Studie zu sicherheitstechnischen Maßnahmen am Fahrzeug am interessantesten. Hier halten sich positive und negative Ergebnisse in etwa die Waage, wie die folgende Tabelle zeigt:

2.6.3.3 Risikoadaptationen bei Maßnahmen der Fahrzeugsicherheit

Tabelle 7: Sicherheitseffekt, Einfluss und Richtung von Adaptationen infolge von Maßnahmen der Fahrzeugsicherheit. Ergebnisse der Metaanalyse der OECD (1990), (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 74)

Sicherheitsmaßnahme	Sicherheitseffekt insgesamt	Einfluss der Adaptation	Richtung der Adaptation
Aktive Sicherheit in Verbindung mit sportlicher Fahrzeugauslegung	eher negativ	mehrfach belegt; häufig zur Ergebnisinterpretation herangezogen	negativ: riskantere Fahrweise
Fahrlicht bei Tage	positiv	nicht nachgewiesen	–
Hochgesetzte Bremsleuchten	USA: positiv	nicht nachgewiesen	–
	BRD: kein Gesamteffekt nachgewiesen, negative Teileffekte	zur Ergebnisinterpretation herangezogen	negativ: Erhöhung der subjektiven Sicherheit
Spikereifen	positiv	mehrfach belegt bzw. zur Ergebnisinterpretation herangezogen	negativ: Erhöhung der subjektiven Sicherheit bei winterlichen Verhältnissen
			positiv (Haupteffekt): Senkung der subjektiven Sicherheit bei nicht winterlichen Verhältnissen
Anti-Blockier-System	nicht eindeutig nachgewiesen	anhand von Einstellungs- und Verhaltensstudien belegt, durch Unfallzahlen teilweise gestützt	negativ: sorglosere Fahrweise
Sicherheitsgurte	positiv	oft anhand von Unfallvergleichen vermutet, aber nicht nachgewiesen	–

Aufgrund des Alters der Metaanalyse (1990) sind darin keine Untersuchungen zum relativ neuen System ESP (= Elektronisches Stabilitäts-Programm) enthalten. Neuere Studien zeigen aber, dass ESP durch die Reduzierung der Schleudergefahr in Kurven und beim Ausweichen oder Bremsen insgesamt einen Sicherheitsgewinn bringt. So verunglückten z. B. ca. 4 Prozent neu zugelassene Pkw von Daimler-Chrysler *mit* ESP weniger im Vergleich zu Daimler-Chrysler-Pkw *ohne* ESP (relativiert am Durchschnitt aller anderen verunglückten Pkw-Fahrzeugmarken) (Bundesamt für Statistik, 2002; Automotive Intelligence, 2002). Die Reduzierung von Fahrunfällen, d. h. von „Alleinunfällen", bei denen kein Unfallgegner beteiligt war, beträgt sogar ca. 30 Prozent (Bundesamt für Statistik, 2002).

Problematisch sind allerdings Studien (z. B. Busch et al., 2003, sowie Becker et al., 2003), die selektiv nur die Unfallzahlen von sogenannten „Schleuderunfällen" betrachten, also genau den Unfällen, die ESP verhindern soll. Damit lassen sich zwar Aussagen darüber machen, ob ESP Schleuderunfälle reduziert, aber überhaupt nicht über andere Arten von Unfällen, die genauso gut zunehmen könnten, da Fahrer mit ESP möglicherweise schneller und risikofreudiger fahren und dadurch mehr andere Arten von Unfällen verursachen. Über eventuelle Verhaltensadaptationen machen die genannten Untersuchungen zur Wirksamkeit von ESP keine Angaben.

Die oben angeführte Auflistung macht deutlich: Die häufig pauschal geäußerte Behauptung, fahrzeugtechnische Verbesserung würden durch den Fahrer zunichte gemacht, da dieser die Verbesserungen für ein noch schnelleres, effizienteres Vorwärtskommen nutzen würde, lässt sich durch empirische Daten nicht bestätigen. Zwar gibt es Hinweise auf Verhaltensanpassungen, der Nettoeffekt ist jedoch insgesamt positiv. Eine Ausnahme bildet allerdings aktive Sicherheit in Kombination mit einer sportlichen Fahrzeugauslegung, wie sie insbesondere in Fahrzeugen der Oberklasse anzutreffen ist, die ja zugleich auch die ersten Fahrzeuge sein werden, die als erste mit neuen Fahrerassistenzsystemen auf dem Markt erhältlich sein werden. Hier sind nicht nur Verhaltensadaptationen mehrfach belegt, sondern der Sicherheitseffekt ist sogar insgesamt negativ. Pfafferott und Huguenin zu den Ergebnissen von Sicherheitsmaßnahmen am Fahrzeug:

> Bei keiner Maßnahme finden sich eindeutigere Belege für unerwünschte Adaptationsvorgänge des Fahrers als bei Maßnahmen zur aktiven Fahrsicherheit. Dies betrifft vor allem jene, die die Aufgabe der Führung und Stabilisierung des Fahrzeugs im Normal- und Grenzbereich verbessern sollen. Umfassende Vergleiche, vor allem auf der Grundlage deutscher Unfalluntersuchungen, lassen erkennen, dass der höhere Sicherheitsstandard eines Fahrzeug(typ)s kein Garant für eine günstigere Unfallbilanz ist. Vor allem wenn Sicherheitsverbesserungen mit der Möglichkeit zu sportlich-zügiger Fahrweise gepaart sind bzw. vorgenommen wurden, um neue Geschwindigkeitsräume zu eröffnen, kann der Gewinn an Sicherheit per Saldo verloren gehen oder zumindest erheblich eingeschränkt werden. (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 74)

Bei der genauen Betrachtung der Ergebnisse wird deutlich, dass die Wahrscheinlichkeit für uner-

wünschte Adaptationen nicht beliebig oder zufällig ist, sondern vom Zusammentreffen ganz bestimmter Bedingungen abhängt, wie das folgende Kapitel zeigt.

2.6.4 Kriterien für die Auftretenswahrscheinlichkeit von Verhaltensadaptationen

Aus den oben angeführten Ergebnissen kommt die OECD-Studie zu folgendem Schluss:

> Ob es sich um die Verbreiterung von Fahrstreifen handelt, um die verbesserte Griffigkeit von Spikereifen oder um den Zuwachs an Fahrfertigkeiten – bessere ‚Ausrüstungen' dieser Art scheinen Adaptationsprozesse zu provozieren und Sicherheitspotentiale zu schmälern. Maßnahmen dagegen, die den aktiven Handlungsraum des Fahrers nicht oder nur wenig tangieren – wie Tagesfahrlicht oder Sicherheitsgurte – scheinen keine bzw. nur schwache Adaptationen nach sich zu ziehen. (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 77)

Die Autoren leiten aus der Ergebnissen der Metaanalyse fünf allgemeine Kriterien ab, die die Wahrscheinlichkeit beeinflussen, dass es bei bestimmten Sicherheitsmaßnahmen zu Verhaltensadaptationen kommt:

- Interaktion mit der Maßnahme
- Unmittelbarkeit der Rückmeldung
- Erweiterung des Handlungsspielraums
- Erhöhung der subjektiven Sicherheit
- Überlagerung durch Auslebenstendenzen

Die folgenden Beschreibungen dieser Aspekte sind entnommen aus Pfafferott (1991, S. 77) und wurden durch Beispiele für Assistenzsysteme im Fahrzeug ergänzt.

2.6.4.1 Interaktion mit der Maßnahme

Adaptationen des Fahrers an für ihn neue Bedingungen setzen voraus, dass er die Wirkung einer Maßnahme wahrnimmt oder zumindest darüber informiert ist. Das heißt wenn ein Fahrer überhaupt nicht weiß, dass sein Fahrzeug ein bestimmtes Sicherheitssystem besitzt und er beim alltäglichen Fahren von diesem System nichts mitbekommt, dann wird keine Risikokompensation eintreten. Ein Assistenzsystem, von dessen Vorhandensein der Fahrer normalerweise nichts merkt (außer bei einem Crash) ist die Automatische Notbremse.

Bei der vorliegenden Studie stellte sich beispielsweise heraus, dass viele befragte Fahrer gar nicht wussten, welche Sicherheitssysteme (z. B. ESP) ihr Auto besitzt (vgl. Anhang K). Dies ist allerdings weniger erstaunlich, wenn man bedenkt, dass Fahrer und Fahrzeughalter (bzw. Fahrzeugkäufer, also derjenige, der für zusätzliche Systeme einen höheren Kaufpreis zahlt) nicht immer

identisch sind. Aus verkehrspsychologischer Sicht ist dieses Nichtwissen jedenfalls positiv zu bewerten, da es ungünstigen Verhaltensanpassungen vorbeugt.

2.6.4.2 Unmittelbarkeit der Rückmeldung

„Adaptationen an eine Sicherheitsmaßnahme sind insbesondere dann zu erwarten, wenn der Fahrer konkrete Erfahrungen über die Wirkungen dieser Maßnahme machen kann“ (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 77). Ein Fahrerassistenzsystem, das häufig direkt mit dem Fahrer interagiert (z. B. *Lane Departure Warning* oder *ACC*), beispielsweise durch häufige unmittelbare Eingriffe in das Fahren, ist bezüglich Verhaltensadaptationen anfälliger als Maßnahmen, deren Wirkung weniger unmittelbar spürbar sind (z. B. Winterreifen auf schneebedeckter Fahrbahn).

2.6.4.3 Erweiterung des Handlungsspielraums

„Geben Veränderungen im System Mensch-Fahrzeug-Straße dem Fahrer die Möglichkeit zur Wahl neuer Expositionsbedingungen, extremerer Fahrsituationen, höherer Geschwindigkeitsbereiche usw. wächst die Wahrscheinlichkeit für sicherheitsabträgliche Adaptationen“ (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 77). Systeme wie *Night Vision*, das *adaptive Kurvenlicht* oder die *Aufmerksamkeitskontrolle* beispielsweise können dazu führen, dass Fahrer, die bisher nur ungern bei Nacht gefahren sind, durch diese Systeme häufiger nachts fahren. Sie könnten z. B. gezielt nachts in den Urlaub fahren, wo sie früher lieber tagsüber fuhren oder von Veranstaltungen oder Feiern nach Hause fahren, wo sie früher lieber bei Freunden oder in einem Hotel übernachteten. Dadurch setzen sie sich zusätzlich den Gefahren von Dunkelheit und Müdigkeit aus.

Lane Departure Warning könnte von Fahrern als „Lenkhilfe“ missbraucht werden, da sie zu der Überzeugung kommen, mit diesem System könnten sie durchaus noch alkoholisiert von der Kneipe nach Hause fahren – ein Entschluss, den sie ohne Assistenzsystem möglicherweise nicht gefasst hätten. ACC ermöglicht durch die Unterstützung bei der Längsführung des Fahrzeugs einen geringeren Sicherheitsabstand zu vorausfahrenden Fahrzeugen und eine höhere Geschwindigkeit. Gerade die höhere Fahrgeschwindigkeit ist ein Nebeneffekt, mit dem bei den meisten Fahrerassistenzsystemen durch die beabsichtigte Entlastung des Fahrers zu rechnen ist. Ohne diese Systeme wären sie von der „normalen“ Tätigkeit der Fahrzeugführung so stark beansprucht, dass sie automatisch weniger stressreiche, geringere Geschwindigkeiten wählen.

2.6.4.4 Erhöhung der subjektiven Sicherheit

„Sicherheitsabträgliche Verhaltensanpassungen sind ferner immer dann zu befürchten, wenn die

subjektive Sicherheit (d. h. das Sicherheitsgefühl des Fahrers) erhöht wird. Der Fahrer gewinnt die Überzeugung, besser ausgerüstet zu sein und dadurch kritischere Situationen besser beherrschen zu können“ (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 77). Ein größeres Sicherheitsgefühl kann grundsätzlich aus allen Fahrerassistenzsystemen resultieren. Um den Einfluss der wahrgenommen Sicherheit auf mögliche Verhaltensadaptationen konkret beurteilen zu können, bleibt keine andere Wahl, als den Fahrer zu seinem Sicherheitsgefühl zu befragen.

Das Pikante an der subjektiven Sicherheit ist, dass es das Ziel jeden Automobilherstellers ist, die subjektive Sicherheit des Fahrers zu erhöhen, da sie ein wichtiges Kriterium bei der Kaufentscheidung ist. Er versucht dies zu erreichen durch ein ruhiges, komfortables Fahrverhalten mit möglichst geringer Geräuschkulisse selbst bei sehr hohen Geschwindigkeiten, durch gezielte Werbung, in der der Sicherheitsaspekt hervorgehoben wird und andere Maßnahmen. Gerade bei Fahrerassistenzsystemen ist die Sicherheit neben dem erhöhten Komfort ein zentrales Verkaufsargument.

Die Maßnahmen, die darauf zielen, dem Kunden ein starkes Sicherheitsgefühl zu vermitteln, sind jedoch aus verkehrspsychologischer Sicht kontraproduktiv und erhöhen die Wahrscheinlichkeit von unerwünschten Verhaltensadaptationen. Ideal wäre eine möglichst hohe *objektive* Sicherheit des Fahrzeugs bei einer gleichzeitigen geringen *subjektiven* Sicherheit des Fahrers (Extrembeispiel: die objektive Sicherheit einer *S-Klasse*, die dem Fahrer das Sicherheitsgefühl in einem *Smart* vermittelt). Da jedoch dann (außer vielleicht einigen Verkehrspsychologen) keine Kunden mehr solche Autos kaufen würden und da das Ziel jedes Automobilherstellers nicht die Reduzierung von Verkehrsunfällen, sondern der Verkauf der eigenen Fahrzeuge ist, ist eine Annäherung an dieses Ideal selbstverständlich völlig unrealistisch.

2.6.4.5 Überlagerung durch Auslebenstendenzen

„Je nach Motivation, Fahrstil oder momentaner Erlebensentwicklung setzt der Fahrer die ihm zur Verfügung gestellten Möglichkeiten ein. Je stärker sich Verbesserungen in leistungs- und erlebnisbetonte Fahrstile umsetzen lassen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Nutzung von der ursprünglichen Sicherheitsabsicht entfernt“ (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 77).

Auch wenn Fahrerassistenzsysteme entwickelt werden, um das Fahren sicherer zu machen, so muss dennoch damit gerechnet werden, dass Fahrer die durch die Assistierung frei werdenden mentalen Ressourcen nicht dazu nutzen, sich noch besser auf das Verkehrsgeschehen zu konzentrieren, sondern z. B. dazu, schneller zu fahren oder „zum Spaß“ Fahrmanöver zu wagen, die sie ohne Assistenzsystem nicht riskieren würden. Bei einigen Systemen wie ACC ist die Gefahr besonders groß, dass ein Fahrerassistenzsystem als „Raserassistenzsystem“ missbraucht wird.

Anhand dieser fünf Kriterien und der in dieser Studie erhobenen Daten werden in Kapitel 5.2 Fahrerassistenzsysteme hinsichtlich ihrer Anfälligkeit für Risikoadaptationen diskutiert.

2.7 Fehlerklassifikationssysteme zur Analyse von Verkehrsunfällen

2.7.1 Klassifikationssysteme bisheriger Untersuchungen von Verkehrsunfällen

Die Ursachen von Verkehrsunfällen sind sehr vielfältig. Um diese Ursachen in ihrer gesamten Vielfalt erfassen und in ihrer Bedeutung für den jeweiligen Unfall beurteilen zu können, ist es notwendig, jeden einzelnen Unfall für sich genauestens zu analysieren. Dies beinhaltet eine Analyse des Unfallhergangs aus fahrzeugtechnischer Sicht, eine Untersuchung der Fahrumwelt und vor allem eine genaue Befragung der beteiligten Fahrer. Es zeigt sich: Je genauer man hinsieht, desto mehr Einzelursachen und Risikofaktoren findet man, die zum Unfall beigetragen haben. Das Zusammensetzen dieser einzelnen Puzzleteile zu einem Ganzen ergibt ein aussagekräftiges Gesamtbild des Verkehrsunfalls.

Daher kann auch schon ein einzelner Unfall, bei dem ein interessanter Fehler aufgetreten ist, von großer Bedeutung für Maßnahmen zur Unfallprävention sein und kann z. B. den Anstoß geben, eine bestimmte gefährliche Unfallstelle baulich umzugestalten oder Veränderung an der Mensch-Maschine-Schnittstelle vorzunehmen.

Dennoch besteht selbstverständlich die Notwendigkeit, es nicht bei der Analyse von Einzelunfällen zu belassen – und seien sie auch noch so interessant – sondern die Unfallursachen sinnvoll zu klassifizieren, um zu statistisch aussagekräftigen Ergebnissen zu kommen. Da die allermeisten Verkehrsunfälle – wie bereits eingangs erwähnt – auf menschliche Fehler zurückzuführen sind (über 90 Prozent; vgl. Bundesamt für Statistik, 2002, S. 42), ist ein System zur Klassifizierung von Verkehrsunfallursachen praktisch gleichzusetzen mit einem System zur Klassifizierung von menschlichen Fehlern.

Derartige Kategoriensysteme gibt es zahlreich – man könnte fast sagen, es gibt so viele, wie es Autoren gibt, die die psychologischen Ursachen von Verkehrsunfällen untersucht haben (Schneider, 1977, S. 144). Das übliche Vorgehen bisheriger Studien war, dass die Autoren eine Reihe von Verkehrsunfällen mehr oder weniger genau untersuchten und sich hinterher eine bestimmte Anzahl von Kategorien überlegten, denen die Unfälle zugeteilt werden konnten. Obwohl diese Kategorien auf den ersten Blick durchaus plausibel und vernünftig sind, so stellt sich bei genauerer Betrachtung dennoch die Frage, wie die Autoren ausgerechnet auf genau die jeweilige Anzahl und Beschreibung von Kategorien kamen. Allen Studien zur Untersuchung von psychologischen Unfallursachen, die bis zu den frühen achtziger Jahren entstanden sind, ist gemeinsam, dass ihnen ein fundierter theoretischer Hintergrund fehlt.

Im Folgenden werden einige der bisher verwendeten Klassifikationssysteme für Unfalluntersuchungen kurz vorgestellt. Es geht hierbei lediglich um die Klassifikationssysteme *selbst* und um die Beurteilung einer Eignung für eine Fehleranalyse, nicht um die sonstige methodische Qualität der entsprechenden Studien.

2.7.1.1 Das Konzept der „Hauptursachen“ und „Hintergrundbedingungen“ von Böhm et al.

Böhm et al. (1965) verwendeten zur Klassifizierung von Verkehrsunfällen ein Kategoriensystem, das eine leichte Abwandlung des Systems von Undeutsch (1962) darstellt. Es unterscheidet zwischen *Hauptursachen* und *Mitursachen*. Jede dieser beiden Hauptkategorien enthält wiederum jeweils je zehn Unterkategorien. Die Kategorie der Hauptursachen wurde von Böhm et al. von ursprünglich acht Ursachen bei Undeutsch um zwei weitere Ursachen erweitert (vgl. auch Beierle, 1995, S. 47 sowie Schneider, 1974, S. 142). Die zweite Hauptkategorie der *Mitursachen* wurde von Böhm et al. als *Hintergrundbedingungen* bezeichnet. Böhm et al. stützten sich bei der Begründung dieser Abwandelung des Kategoriensystems auf eine Untersuchung (ihres Mitautors) Spoerer, der Interviews zur Unfallentstehung mit 162 Verunfallten durchführte. Aufgrund der großen Ähnlichkeit der Kategoriensysteme von Undeutsch (1962) und Böhm et al. (1965) wird hier auf eine zusätzliche Darstellung des „Originals“ von Undeutsch verzichtet.

Im Folgenden wird das Klassifikationsschema von Böhm et al. tabellarisch wiedergegeben. Der Kategorienname wird durch eine kurze Definition bzw. Beispiele der Autoren erläutert. Der Prozentwert in der dritten Spalte gibt an, wie hoch in der zitierten Untersuchung der relative Anteil der Unfälle war, bei denen ein derartiger Fehler zur Entstehung des Unfalls beitrug (Mehrfachnennungen möglich).

Tabelle 8: Die zehn *Hauptunfallursachen* nach Böhm et al. (1965, S. 35-46). Kategorienname, Beschreibung sowie die Häufigkeit des Vorkommens:

Kategoriename	Beschreibung	Häufigkeit
Abgelenktsein	Alle Ablenkungen durch Reize im oder außerhalb des Fahrzeugs, sowie der ablenkende Einfluss von Stimmungen und gedankliche Ablenkung	36.4 %
Falsche Abschätzung	Fehlerhafte Einschätzung von Abmessungen, Entfernungen und Geschwindigkeiten	30.2 %
Eingeschliffene Verhaltensweisen und Gewohnheiten	Erfahrungen und Verhaltensweisen, die durch ständige Wiederholung und Ausbleiben negativer Konsequenzen zu einem festen Bestandteil des Verhaltensrepertoires werden und bei geänderten Umweltbedingungen zu einem Fehler führen können; Beispiele: Fahren mit einem neuen Auto, nachdem man sich an ein anderes Fabrikat gewöhnt hat; grundsätzlich zu geringer Sicherheitsabstand zu	25.3 %

	Vorausfahrendem	
Falsche Erwartung bezüglich anderer Verkehrsteilnehmer	Erfahrung, dass sich andere Verkehrsteilnehmer typischerweise anders verhalten; Beispiel: Erwartung, dass ein anderer Fahrer flüssig eine Kreuzung überquert, dieser jedoch plötzlich anhält	17.9 %
Indirekte Situationsbeurteilung	Ein Verkehrsteilnehmer richtet sein Verhalten nach dem eines anderen, ohne die Gesamtsituation übersehen zu können, und gerät dabei mit einem Dritten in eine unfallträchtige Situation; Beispiel: „Hintenanhängen“ im „Blickschatten“ an ein überholendes Fahrzeug, ohne Orientierung auf eventuell entgegenkommendem Verkehr	12.3 %
Korrektur des eigenen Fehlverhaltens	Plötzliche, unkontrolliert und unüberlegt einsetzende Berichtigungshandlung, nachdem bereits ein Fehler vorausging; Beispiel: Ein Fahrer bremst an einer Kreuzung bei Rot zu spät ab, bleibt jenseits der Haltelinie stehen, setzt zurück und verletzt dadurch einen Fußgänger auf dem Zebrastreifen	11.1 %
Durchbruch natürlicher Verhaltenstendenzen	Fehler, der dadurch entsteht, dass die vom Menschen gesetzte Ordnung der natürlichen Verhaltensdisposition des Menschen widerspricht und diese Verhaltenstendenz sich durchsetzt; Beispiel: Vorfahrtsmissachtung bei Rechts-vor-Links, wenn Vorfahrtsberechtigter auf einer kleinen Straße kommt und Wartepflichtiger auf einer breiten Straße fährt	8.0 %
Bewusst regelwidriges Verhalten	Absichtliche, dem eigenen Vorteil dienende Verstöße gegen Verkehrsregeln und Vorrechte anderer Verkehrsteilnehmer	3.7 %
Überzeugungen aufgrund falscher Interpretationen von Verkehrsregeln und Einrichtungen	Fehler durch versehentliches Falsches Deuten von Regeln oder Einrichtungen	3.1 %
Wahrnehmungs- oder Reaktionsstörungen	Fehler durch einen kurzzeitigen Ausfall der Fähigkeit, Informationen wahrzunehmen oder angemessen zu reagieren; Beispiel: Schwindelanfälle oder Ohnmachten	1.9 %

Tabelle 9: Die zehn *Hintergrundbedingungen* nach Böhm et al. (1965, S. 35-46). Kategorienname, Beschreibung sowie die Häufigkeit des Vorkommens:

Kategoriename	**Beschreibung**	**Häufigkeit**
Mangelnde Vertrautheit mit den Erfordernissen des Verkehrs	Beispiele: mangelnde Fahrerfahrung, mangelndes Risikobewusstein oder mangelnde Anpassung an die Erfordernisse des Verkehrs (z. B. Straßen- oder Sichtverhältnisse)	37.0 %
Eile	Zu schnelles Fahren, das nicht den Sicherheitserfordernissen der Verkehrssituation entspricht, entweder zur Verfolgung eigener Interessen oder unter sozialem Druck	34.6 %
Stimmung	Positive oder negative Gefühlslage, die eine sichere Fahrweise beeinträchtigt	16.7 %
Mangelnde Beherrschung des Unfallfahrzeugs	Fehler bei elementaren Bedienvorgängen	16.0 %
Vorübergehende Beeinträchtigung in Zusammenhang mit physiologischen Vorgängen	Physiologische Vorgänge, die negativen Einfluss auf Fahrweise ausüben; Beispiele: Übermüdung, Medikamente, aber auch Sonnenblendung, jedoch *kein* (!) Alkohol	16.0 %
Geltungsbedürfnis	Bedürfnis, sich durch das Fahrzeug vor Mitfahrern oder in Konkurrenz zu anderen Verkehrsteilnehmern als überlegen darzustellen	4.9 %
Mangelnde Beachtung des Zustandes des Fahrzeugs	Nicht erfolgte oder mangelnde Beseitigungen von Fehlern an Fahrzeugen, für deren Zustand die Fahrer verantwortlich zu machen sind. Beispiel: „Reifenplatzer", da Reifendruck nicht kontrolliert wurde	4.3 %
Mangelnde Kenntnis der Verkehrsregeln	Fehler, die dadurch verursacht wurden, dass der Fahrer kein ausreichendes Wissen über eine relevante Verkehrsregel hatte Beispiel: Bedeutung bestimmter Verkehrsschilder	4.3 %
Aggressivität	Bedürfnis, anderen Verkehrsteilnehmern zu schaden Beispiel: Fahrer fühlt sich durch anderen Verkehrsteilnehmer behindert oder in seinen Rechten beschnitten und will sich rächen	0.6 %
Dauernde Beeinträchtigung	Mangelnde Fahrtauglichkeit wegen langandauernden, starken Einschränkung der Fähigkeiten, die zum Führen eines Fahrzeugs benötigt werden Beispiel: Einschränkung durch hohes Alter oder Krankheit	0.6 %

Das Unfallursachenschema von Böhm et al. mit der Aufteilung in die zehn Kategorien der Hauptunfallursachen und die zehn Kategorien sogenannter Hintergrundbedingungen stellt einen sehr differenzierten Versuch dar, psychologische Unfallursachen zu beschreiben.

Dennoch weist dieses Klassifikationssystem einige Schwachstellen auf: Mit Hauptunfallursache 3 („Eingeschliffene Verhaltensweisen und Gewohnheiten") beispielsweise wird unterstellt, ein zu geringer Sicherheitsabstand – immerhin einer der häufigsten Fehler im Straßenverkehr überhaupt – wäre grundsätzlich immer das Resultat einer schlechten Gewohnheit. Dies ist jedoch zu pauschal, denn ein geringer Sicherheitsabstand kann genauso gut die Folge situativer Umstände sein, z. B. Zeitdruck oder sehr dichter Verkehr. Durch diese Kategorie besteht daher die Gefahr, eine durch äußere Umstände gezeigte Verhaltensweise vorschnell als durch Lernprozesse bedingte Persönlichkeitseigenschaft abzustempeln.

Die Hauptunfallursache 6 („Korrektur eines eigenen Fehlverhaltens") sagt bezüglich der Art des Fehlers nichts aus. Das einzige Kennzeichen dieser Kategorie ist, dass der Fahrer irgendeinen Fehler macht, nachdem er bereits irgendeinen anderen gemacht hat. Eine Fehlerkategorie sollte jedoch die Qualität des Fehlers beschreiben, was hier nicht geschieht.

Die Hintergrundbedingung „Geltungsbedürfnis" (Nummer 6) klingt zwar sehr psychologisch, aber es bleibt unklar, wie ein starkes Geltungsbedürfnis, das zweifelsohne bei vielen (insbesondere männlichen) Autofahrern zu beobachten ist, konkret zu einem Unfall führen soll. Um verkehrsgefährdend zu werden, muss sich diese innere Einstellung in konkreten, gefährlichen Verhaltensweisen niederschlagen, z. B. in einer aggressiven Fahrweise oder in überhöhter Geschwindigkeit – dann jedoch wird dieser Fehler schon in anderen Kategorien erfasst.

Ein großes Manko ist die zum Teil willkürlich anmutende Zuordnung der Fehler zu Hauptursachen und Hintergrundbedingungen. Die von den Autoren als „Durchbruch natürlicher Verhaltenstendenzen" bezeichnete Unfallursache (Nummer 7) zu den Hauptursachen zu zählen, erscheint doch etwas übertrieben. Gerade das Beispiel mit einer Vorfahrtsverletzung bei ungleich breiten Straßen mit einer „Rechts-vor-Links-Regelung" ist als typisches Beispiel für eine ungünstig gestaltete Fahrumwelt eher eine klassische Hintergrundbedingung.

Umgekehrt fragt man sich, warum die Hintergrundbedingungen „Eile" (Nummer 2), d. h. überhöhte Geschwindigkeit oder die „Vorübergehende Beeinträchtigung in Zusammenhang mit physiologischen Vorgängen" (Nummer 5), z. B. Einschlafen am Steuer nur Hintergrundbedingungen sein sollen und keine Hauptunfallursachen.

Zu beachten ist außerdem, dass Unfälle, bei denen der Verursacher unter Alkoholeinfluss stand, von vornherein aus der Untersuchung ausgeschlossen waren (Böhm et al., 1965, S. 43). Es wäre möglich gewesen, Alkoholeinfluss als Ursache in die Kategorie „Vorübergehende Beeinträchtigung in Zusammenhang mit physiologischen Vorgängen" aufzunehmen. Dies ist aber nicht der Fall. Da-

mit wird eine der Hauptursachen – insbesondere von schweren Verkehrsunfällen – gar nicht erfasst und die Statistik verzerrt.

Und nicht zuletzt fragt man sich, wie die Autoren ausgerechnet auf zehn plus zehn Unfallursachen kommen. Die Grenze zwischen Hauptunfallursachen und Hintergrundbedingungen ist ohnehin fließend, sowohl was die Kategorien selbst betrifft, als auch was die Zuordnung eines bestimmten Fehlers im Kontext eines bestimmten Unfalls betrifft: Denn was beim einen Unfall „nur" eine Hintergrundbedingung ist (z. B. überhöhte Geschwindigkeit), ist beim anderen Unfall möglicherweise die Hauptursache (z. B. bei einem Alleinunfall durch Abkommen von der Fahrbahn). Die Liste Hintergrundbedingungen ließe sich zudem mühelos um zahlreiche weitere Bedingungen verlängern.

Die Unterteilung der Unfallursachen in zehn plus zehn Kategorien erinnert daher eher an Zahlenmystik als an ein zwingendes Erfordernis aufgrund empirischer Daten. Eine inhaltliche oder theoretische Begründung für genau diese Aufteilung liefern die Autoren jedenfalls nicht.

2.7.1.2 Das Konzept der „direkten" und „indirekten" Unfallursachen von Shinar et al.

Ein Klassifizierungssystem, das demjenigen von Böhm et al. ähnelt, verwendeten Shinar et al. (1978). Vergleichbar mit den Kategorien *Hauptursachen* und *Hintergrundbedingungen* unterschieden sie zwischen *direkten* und *indirekten* Unfallursachen.

Im Folgenden wird das Klassifikationsschema von Shinar et al. tabellarisch wiedergegeben. Der Kategorienname wird durch eine kurze Definition der Autoren erläutert.

Tabelle 10: Die neun *direkten Ursachen* nach Shinar et al. (1978, S. 18 ff). Kategorienname und Beschreibung:

Kategoriename	**Beschreibung**
Kritische Untätigkeit	Unfall wegen plötzlichen Kontrollverlustes über das Fahrzeug durch Ohnmacht, Bewusstlosigkeit oder Einschlafen
Unaufmerksamkeit	Unfall, der durch zu spät wahrgenommene Information entsteht, weil der Fahrer seine Aufmerksamkeit aus nicht zwingenden Gründen nicht der Fahraufgabe zugewendet hat
Interne Ablenkung	Unfall, der durch zu spät wahrgenommene Information entsteht, weil der Fahrer seine Aufmerksamkeit auf ein Ereignis, eine Aktivität oder eine Person innerhalb des Fahrzeugs zugewendet hat
Mangelhafte Orientierung	Unfall, der durch zu spät wahrgenommene Information entsteht, weil der Fahrer in einer Situation, die eine besonders umsichtige visuelle Orientierung erfordern würde, diese unterlässt
Mangelhafte Fahrtechnik	Unfall, der dadurch geschieht, dass der Fahrer seine Fahrweise in Hinsicht auf die Einhaltung der Fahrspur und Geschwindigkeit so ungenügend kontrolliert, dass dadurch ein drastisch erhöhtes Unfallrisiko vorhanden ist. Die Fahrweise muss dabei für den Fahrer *typisch* sein
Überhöhte Geschwindigkeit	Unfall, der durch eine nicht angepasste Geschwindigkeit entsteht
Unzweckmäßiges Ausweichmanöver	Unfall, der gänzlich zu verhindern oder in seiner Schwere zu reduzieren gewesen wäre, wenn der Fahrer durch ein geschicktes Lenken, Bremsen oder Beschleunigen anders reagiert hätte
Überkompensieren	Unfall, der dadurch entsteht, dass in einer kritischen Situation die Reaktion des Fahrers so heftig war, dass dadurch die Kontrolle über das Fahrzeug verloren ging
Mangelhafte Richtungskontrolle	Unfall, der dadurch entsteht, dass der Fahrer die Kontrolle über die Fahrtrichtung verliert

Tabelle 11: Die neun *indirekten Ursachen* nach Shinar et al. (1978, S. 18 ff). Kategorienname und Beschreibung:

Kategoriename	Beschreibung
Beeinträchtigung durch Alkohol	Beeinträchtigung durch Alkohol zum Unfallzeitpunkt
Beeinträchtigung durch Drogen und andere Medikamente	Beeinträchtigung durch die Einnahme von Tranquilizern, Amphetaminen, Schmerztabletten, Schlaftabletten und illegale Drogen innerhalb der letzten zwölf Stunden vor dem Unfall
Ermüdung	Müdigkeit als Zustand mentaler und/oder physischer Erschöpfung während der Fahrt, jedoch nicht Einschlafen (siehe Tabelle 10, Punkt 1!)
Verminderte Sehfähigkeit	Zeitweilige (z. B. durch Überlastung des Auges) oder dauernde Beeinträchtigung (z. B. Farbenfehlsichtigkeit) der Sehfähigkeit
Affektive Erregung	Akute, intensiv wirkende Störung (Ärger, Verwirrung, Depression), die im Bewusstsein, im Verhalten und in physiologischen Prozessen zum Ausdruck kommt
In Eile sein	Fahrer fühlt sich aufgrund des Eindrucks erhöhter Dringlichkeit genötigt, bis an die Grenzen verkehrssicheren Verhaltens zu gehen oder sie zu überschreiten
Fehlende Fahrerfahrung	Mangelnde Fahrpraxis, z. B. bei Fahranfängern
Fehlende Vertrautheit mit dem Fahrzeug	Fehlende Vertrautheit mit einem Fahrzeug, das neu oder fremd ist
Fehlende Vertrautheit mit der Gegend	Unbekannte Strecke, auf der der Fahrer fährt

Das Klassifikationssystem von Shinar et al. weist einige bedeutende Schwachstellen auf: Bei der Kategorie „Interne Ablenkung“ (direkte Ursache 3) sind lediglich Ablenkungen durch Reize innerhalb des Fahrzeugs erfasst – eine Ablenkung durch Reize außerhalb des Fahrzeugs ist jedoch ebenso möglich, z. B. durch andere Fahrzeuge, Personen, Verkehrszeichen, Wegweiser, ungewöhnliche Ereignisse wie einem Autobahn-Unfall in der Gegenrichtung usw.

Zudem ist die Abgrenzung der Kategorie „Interne Ablenkung“ zur Kategorie „Unaufmerksamkeit“ (direkte Ursache 2) unklar. Eigentlich ist „Interne Ablenkung“ eine Teilmenge von „Unaufmerksamkeit“, da sich beides auf Unfallursachen aufgrund von Ablenkung bezieht, aber bei der Kategorie „Interne Ablenkung“ die Reizquelle innerhalb des Fahrzeugs zu suchen ist. Dabei stellt sich die Frage, wofür die Kategorie „Interne Ablenkung“ überhaupt gut sein soll, da sie sich auch nicht nur auf Dinge im Fahrzeug beschränkt, die unmittelbar mit dem Fahren zu tun haben, wie z. B. Anzeigen oder Bedieneinrichtungen, für die man bei hohen Fehlerzahlen in dieser Kategorie wenigstens

einen erhöhten Ergonomiebedarf feststellen könnte. Nach Shinar et al. kann sich jedoch eine „Interne Ablenkung" auch auf eine Person auf dem Beifahrersitz beziehen, die der Fahrer ansieht. Sieht er jedoch auf eine Person auf dem Gehweg und ist dadurch abgelenkt, dann fällt der Unfall in eine andere Kategorie, nämlich „Unaufmerksamkeit".

Die Kategorie „Unzweckmäßiges Ausweichmanöver" (direkte Ursache 7) macht keine Aussage darüber, *warum* ein Ausweichmanöver notwendig geworden ist. Bei einer normalen Fahrt ohne eine kritische Situation besteht ja keine Notwendigkeit für ein Ausweichmanöver. Wird es dennoch nötig, hat sich in aller Regel bereits ein anderer Fehler ereignet, der zu der kritischen Situation geführt hat. Dies könnte nach Shinar et al. z. B. ein Fehler aufgrund mangelhafter Orientierung oder ein Fehler aus einer ihrer beiden Aufmerksamkeitsmangel-Kategorien sein.

Zudem erinnert diese Kategorie stark an die Überzeugung zahlreicher ihr eigenes Fahrkönnen überschätzender Fahrer, man müsse ja in einer (evtl. selbst herbeigeführten) kritischen Situation nur geschickt genug lenken, bremsen oder beschleunigen, um einen Unfall zu vermeiden. Das eigentliche Problem ist jedoch, dass durch einen Fehler oder einen Verstoß die kritische Situation überhaupt erst entstanden ist (siehe auch Kapitel 4.6.5 „Fehler im Bereich Motorik").

Eine ähnliche Kritik wie für das „Unzweckmäßige Ausweichmanöver" gilt auch die Kategorie „Überkompensieren". Wie der Name schon sagt, macht dabei der Fahrer den Versuch, einen bereits zuvor begangenen Fehler zu kompensieren, also auszugleichen. Auch hier stellt sich die Frage, was dann eigentlich der vorausgehende Fehler war. Zudem ist die inhaltliche Abgrenzung zur Kategorie „Ausweichmanöver" nicht eindeutig. In beiden Fällen handelt es sich um eine fehlerhaft durchgeführte motorische Handlung.

Die inhaltliche Abgrenzung zwischen den Kategorien „Mangelhafte Fahrtechnik" und „Mangelhafte Richtungskontrolle" ist ebenfalls problematisch. Der einzige Unterschied besteht darin, dass Shinar et al. bei der „mangelhaften Fahrtechnik" von einer Fahrweise sprechen, die für den Fahrer typisch ist (also quasi eine Persönlichkeitseigenschaft), bei der „mangelhaften Richtungskontrolle" dagegen von einem situationsabhängigen Verlust der Richtungskontrolle, z. B. aufgrund einer Ablenkung.

Abgesehen davon, welchen Nutzen diese Unterscheidung bringt, stellt sich die Frage, wie die Autoren bei ihrer Untersuchung von 420 Unfällen reliabel unterscheiden konnten zwischen solchen Fahrern, die ihren Unfall aufgrund mangelnder Fahrtechnik verursacht hatten, und solchen denen nur „ausnahmsweise" ein solcher Fehler unterlaufen war. Die Autoren machen hierzu keine Angaben.

Zusammenfassend lässt sich zu den direkten Unfallursachen von Shinar et al. sagen, dass von den neun Kategorien drei überflüssig sind, weil sie praktisch das Gleiche aussagen wie drei andere Kategorien. Dies sind die Paare „Unaufmerksamkeit" und „interne Ablenkung", „Unzweckmäßige Ausweichmanöver" und „Überkompensieren" sowie „Mangelhafte Fahrtechnik" und „Mangelhafte

Richtungskontrolle“.

Zudem fällt auf, dass mit den vier letztgenannten Kategorien (vier von neun direkten Ursachen) ein sehr technisches Verständnis des Autofahrens deutlich wird, das auf den Punkt gebracht lautet: „Zahlreiche Unfälle passieren deshalb, weil die Fahrer die Technik des Autofahrens zu wenig beherrschen. Ein guter Fahrer meistert (wie ein Ralleyfahrer) selbst kritische Situation an den Grenzen der Fahrphysik durch geschicktes Lenken, Bremsen oder Beschleunigen noch souverän und kann dadurch einen Unfall im letzten Moment verhindern.“ Diese Sichtweise ist sie nicht nur bei Laien, sondern auch bei zahlreichen Kfz-Ingenieuren verbreitet; sie ist jedoch empirisch nicht haltbar.

Auch für diese Ursachen-Klassifizierung gelten dieselben Kritikpunkte, die auch schon für das System von Böhm et al. (1965) angeführt wurden: Die neun plus neun Kategorien sind etwas willkürlich; die Liste der *indirekten Ursachen* (auf die hier nicht näher eingegangen werden soll) könnte ohne Weiteres um mehrere weitere Ursachen erweitert werden und die Liste der *direkten Ursachen* wurde durch starke inhaltliche Bedeutungsähnlichkeit von sechs auf neun Kategorien „gestreckt“.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass das Fehlerklassifikationssystem von Shinar et al. (1978) weniger fundiert ist als das von Böhm et al. (1965), obwohl es auf diesem aufbaut. Eine theoretische Begründung, die auf allgemein akzeptierten Modellen menschlichen Handelns basiert, ist zudem nicht gegeben.

2.7.1.3 Das Konzept des „menschlichen Versagens“ von Otte et al.

Das Klassifikationssystem von Otte et al. (1982) ist in seiner Konzeption deutlich psychologischer ausgelegt als das System von Shinar et al. (1978). Dies kommt auch im – allerdings unglücklich gewählten – Ausdruck des „menschlichen Versagens“ zum Ausdruck.

Tabelle 12: Die acht Unfallursachen-Kategorien des Konzepts des „menschlichen Versagens“ nach Otte et al. (1982, S. 60-62.). Kategorienname und Beschreibung:

Kategoriename	**Beschreibung**	**Häufigkeit**
Überforderung durch unangemessenen Informationsumfang	Unfälle durch Überforderung des optisch-sensorischen Wahrnehmungsapparates, z. B. bei mangelnder Ortskenntnis	5.8 %
Überforderung durch unangemessene Informationsgeschwindigkeit	Unfälle durch überraschendes, nicht vorhersehbares (Fehl)verhalten eines oder mehrerer anderer Verkehrsteilnehmer	24.7 %

Detailüberforderung	Unfälle durch Unkenntnis des richtigen Fahrverhaltens in einer bestimmten Situation, z. B. Fahrfehler, Unkenntnis der Bedienelemente, geringe Fahrpraxis oder Unkenntnis der Verkehrsbestimmungen	11.6 %
Zu geringe Aktivation	Unfälle durch ein zu geringes Aktivierungsniveau, z. B. Übermüdung und Sekundenschlaf; auch Alkoholisierung, eingeschliffene Verhaltensweisen und altersbedingte Fahruntüchtigkeit	24.1 %
Zu hohe Aktivation	Unfälle durch Eile, Zeitdruck oder Wichtigkeit der Fahrt	8.3 %
Äußere Ablenkung	Unfälle durch Ablenkung aufgrund außerindividueller Reize innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs, z. B. Ablenkung durch andere Verkehrsteilnehmer, auffällige Werbung am Straßenrand oder Gespräche mit den Beifahrern	9.4 %
Innere Ablenkung	Unfälle durch Ablenkung an wichtige private oder berufliche Ereignisse, Belastungen und Probleme	7.5 %
Angeborene Verhaltensmuster	Überlagerung eines korrekten, erlernten Fahrverhaltens durch ein angeborenes Verhaltensmuster, z. B. sofortiges Betätigen der Bremse als unwillkürlich ablaufende Reaktion auf eine vorausgegangene, plötzliche Reizeinwirkung	5.7 %

Das Klassifikationsschema von Otte et al. (1982) ist mit nur acht Kategorien deutlich kürzer als das von Böhm et al. (1965) und Shinar et al. (1978). Die Kategorien „Zu geringe Aktivation“ und „Zu hohe Aktivation“ sowie „Äußere Ablenkung“ und „Innere Ablenkung“ stellen sinnvolle, sich gegenseitig ergänzende Kategorien dar.

Die übrigen vier sind jedoch nicht unproblematisch: In die erste Kategorie fallen beispielsweise Unfälle, die dadurch entstehen, dass der „optisch-sensorische Wahrnehmungsapparat“ überfordert ist; als Beispiel wird Überforderung bei mangelnder Ortskenntnis genannt. In der Regel ist es allerdings nicht so, dass der Fahrer von so vielen Reizen überflutet wird, dass er dadurch einen Unfall verursacht.

Das Beispiel der mangelnden Ortskenntnis ist hierfür ein gutes Gegenargument. Ein Fahrer, der sich z. B. in einer fremden Stadt orientieren muss, wird durch die Navigationsaufgabe stark abgelenkt: Er muss nach Wegweisern Ausschau halten, Straßennamen lesen, abzweigende Straßen rechtzeitig erkennen usw. Dies zieht Aufmerksamkeit von anderen Teilaufgaben des Fahrens wie z. B. Spur- oder Abstandshaltung ab. Die Ursache für einen dadurch entstehenden Unfall ist eher eine Ablenkung durch Objekte außerhalb des Fahrzeugs; diese wird jedoch schon von der Katego-

rie „Äußere Ablenkung“ erfasst.

In der Kategorie 2 werden Unfälle durch ein nicht vorhersehbares Fehlverhalten anderer Verkehrsteilnehmer erfasst, z. B. ein plötzliches Ausscheren auf die Überholspur auf einer Autobahn. In einem solchen Fall würde es jedoch interessieren, was genau denn der Fehler des anderen Verkehrsteilnehmers bzw. des Unfallgegners war (z. B. vor dem Spurwechsel nicht in die Spiegel geschaut, Schulterblick vergessen, Geschwindigkeit und Entfernung des anderen falsch eingeschätzt usw.). Wird ein Unfall dieser Kategorie zugeordnet, kommt damit lediglich zum Ausdruck, dass ein anderer Fahrer am Unfall schuld ist. Damit ist jedoch noch immer nichts über die Ursache des Unfalls bekannt, d. h. *warum* der unfallverursachende Fahrer dieses Fehlverhalten zeigte, das zum Unfall führte.

Überhaupt ist es bei den meisten Unfällen mit mehr als einem Unfallbeteiligten der Fall, dass der Unfallverursacher einen Fehler oder einen Verstoß begeht, der zum Unfall führt, während für den Unfallbeteiligten dieses Ereignis immer unvorhergesehen kommt und dieser keine Chance mehr hat, den Unfall noch zu verhindern. Für den Unfallverursacher sollte sich daher in jeder Unfallursachenklassifikation eine Kategorie finden, in die der Unfall einzuordnen ist – für den Unfallbeteiligten braucht man hingegen überhaupt keine Kategorie, da bei ihm ja nicht die Ursache liegt. Aus diesem Grund ist die Kategorie 2 überflüssig.

Wenn hingegen ein Unfallforscher die Unfallursache nicht kennt, z. B. weil er nur mit dem Unfallbeteiligten, aber nicht mit dem Unfallverursacher sprechen konnte, dann sollte er so ehrlich sein und die Unfallursache als „unbekannt“ bezeichnen, anstatt sie einer Kategorie mit einem komplizierten, umständlichen Namen zuzuordnen, die über die tatsächliche Unfallursache nichts aussagt.

Die Kategorie 3 („Detailüberforderung“) ist sehr unscharf definiert. Die inhaltlichen Faktoren, die diese Kategorie ausmachen, stammen aus ganz unterschiedlichen Bereichen. So sind beispielsweise Fahrfehler auf der fertigkeitsbasierten (motorischen) Ebene anzusiedeln (vgl. Kapitel 2.3.2), während Unkenntnis der Bedienelemente oder der Verkehrsregeln Fehler auf der wissensbasierten Ebene sind. Ein ebenfalls mögliches falsches Einschätzen der Abmessungen oder der Fahreigenschaften des eigenen Fahrzeugs ist dagegen ein Fehler, der auf einer kognitiven Ebene anzusiedeln ist. Und eine geringe Fahrpraxis schließlich ist überhaupt keine Unfallursache, sondern lediglich ein Risikofaktor, der die Wahrscheinlichkeit für andere Fehler erhöht (bei Shinar et al. wird dies beispielsweise als eine *indirekte* Ursache bezeichnet). Geringe Fahrpraxis allein verursacht jedoch noch lange keinen Unfall. Verkehrsunfälle, die in diese Kategorie fallen, können also die unterschiedlichsten psychologischen Ursachen haben.

Die Kategorie „Angeborene Verhaltensmuster“ ist von der Bezeichnung etwas unglücklich gewählt. Inhaltlich meinen Otte et al. ungefähr das, was Böhm et al. (1965) bzw. Undeutsch (1962) als „Durchbruch natürlicher Verhaltenstendenzen“ bezeichnet haben. Sie führen auch ähnliche Beispiele an (z. B. „Rechts-vor-Links-Regelung“ an einer Kreuzung von ungleich breiten Straßen). Der

Begriff „angeborenes Verhaltensmuster“ klingt jedoch zu biologisch und zu deterministisch, so als ob man es mit einer Instinkthandlung zu tun hätte, die willentlich nicht kontrollierbar sei. Dem ist natürlich nicht so.

Zudem ist das von Otte et al. angeführte Beispiel des sofortigen Bremsens als Reaktion auf einen plötzlich auftauchenden Reiz zwar ein Verhalten, das tatsächlich vorkommt, aber es ist nicht angeboren, sondern im Gegenteil – *erlernt*. Das Betätigen der Bedienelemente im Fahrzeug, also auch das Bremsen, muss schließlich von jedem Fahrschüler in einem aufwändigen Lernprozess eingeübt werden. Insofern wäre es besser, die im Laufe der Zeit erlernte Kopplung von Gefahrenreiz und Treten der Bremse als „automatisierte Reaktion“ zu bezeichnen.

Wichtiger als der Name der Kategorie ist allerdings die Frage, ob dadurch verursachte Fehler wirklich so häufig und so bedeutend sind, dass dafür gleich eine eigene Kategorie (von insgesamt nur acht!) vergeben werden müsste. Die oben als Beispiel erwähnte „Rechts-vor-Links-Kreuzung“ ist gewiss ein Risikofaktor, aber für die Entstehung eines Unfalls ist diese sicherlich nicht hinreichend.

Die häufige Einzelursache „Alkoholisierung“ wird von Otte et al. der Kategorie „Zu geringe Aktivitation“ zugeordnet. Diese Zuweisung ist nicht nachvollziehbar, da ein Unfall durch das meist zu schnelle, risikofreudige Fahren eines alkoholisierten – und damit enthemmten, aufgedrehten Fahrers – eher noch in die entgegengesetzte Kategorie, nämlich „Zu hohe Aktivation“ passen würde. Gerade ein Blick auf die Kategorie „Zu geringe Aktivation“ macht deutlich, dass darin Ursachenbereiche zusammengefasst sind, die nichts miteinander zu tun haben und die bei anderen Autoren (z. B. Böhm et al, 1965) auch auf ganz verschiedene Kategorien verteilt sind.

Aufgrund der geringen Anzahl an Kategorien können auch bestimmte für die Entstehung von Verkehrsunfällen sehr wichtige Faktoren gar nicht berücksichtigt werden, wie z. B. Verstöße (bei Böhm et al. als „Bewusst regelwidriges Verhalten“ eine Hauptursache). Während bei den anderen Autoren durch die als *Hintergrundbedingungen* oder *indirekte Ursachen* bezeichneten Risikofaktoren Informationen über Sicherheitsrisiken im Straßenverkehr gewonnen werden, gehen diese bei einem so groben Kategoriensystem verloren.

2.7.1.4 Sonstige Klassifikationssysteme zur Analyse von Verkehrsunfällen

Es existieren noch weitere Klassifikationssysteme zur Analyse von Verkehrsunfällen. Diese weisen jedoch gravierende Mängel auf, dass an dieser Stelle nicht im Detail darauf eingegangen werden soll. Ein Beispiel dafür ist das System von Kemp et al. (1972).

In dieser, von Ingenieuren durchgeführten, britischen Studie ging es vorrangig um die Frage nach technischen Defekten am Fahrzeug. Es wurde jedoch auch versucht, Ursachen bei den Verkehrsteilnehmern zu ermitteln. Die verwendeten Kategorien sind jedoch ein Durcheinander aus unmittelbaren Verhaltensfehlern, psychischen Ursachen, die diesen Verhaltensfehlern zugrunde

liegen, und rechtlichen Wertungen.

Beispielsweise verwenden Kemp et al. die Kategorien „Falsches Überholen“ oder „Keine Anzeige der beabsichtigten Richtungsänderung“ ohne nach den Ursachen dieses Verhaltens zu fragen, also *warum* der Fehler beim Überholen entstand (z. B. Gegenverkehr nicht gesehen, Geschwindigkeit und Entfernung falsch eingeschätzt usw.) oder *warum* ein Fahrer nicht geblinkt hat (vergessen oder absichtlich aus Bequemlichkeit nicht geblinkt). Eine andere Kategorie ist „Unkorrekte Benutzung des Fahrstreifens“. Ob jedoch der Fahrer absichtlich oder unabsichtlich durchgezogene oder gestrichelte Fahrspurmarkierungen überfährt und warum er dies tut oder ob und aus welchem Grund er versehentlich von der Fahrbahn abkommt, wird damit nicht erfasst. Nach den Ursachen von Fehlern wird kaum gefragt. Die Autoren begnügen sich zum Großteil damit festzustellen, *dass* der Fahrer etwas falsch gemacht hat („Falscher Gebrauch der Fahrzeugbeleuchtung“, „Falsche Zeichengebung“), aber fragen nicht weiter, *warum* er etwas falsch gemacht hat. Damit ist dieses Klassifikationssystem eigentlich kein Fortschritt gegenüber der amtlichen Verkehrsunfallstatistik, die auch eher rechtlich wertende Kategorien verwendet (Schneider, 1977, S. 145 sowie Brown, 1990, S. 1309).

Einen interessanten Ansatz zur Unfallanalyse verwendet Malaterre (1990, S. 1403-1421). Er versuchte, mit statistischen Mitteln (Faktoren- und Clusteranalyse) Unfallkategorien zu finden. Das Ergebnis sind 15 Kategorien, von denen man zwar sagen kann, dass sie auf rein empirischem Weg entstanden sind, bei deren inhaltlicher Interpretation man sich jedoch teilweise sehr schwer tut. Die inhaltlichen Beschreibungen dieser Kategorien sind kompliziert und abstrakt – so abstrakt, dass der Autor darauf verzichtet, ihnen Namen zu geben. Stattdessen nennt er als Beispiel jeweils einen Unfall der prototypisch für die jeweilige Kategorie steht.

Der Grund für die eher konfus wirkende Kategorisierung von Unfällen liegt darin, dass ein Unfall meist mehrere Ursachen hat, so dass eine eindeutige Zuteilung zu einer Kategorie sehr schwierig ist. Bei einer Clusteranalyse werden daher solche Unfälle derselben Kategorie zugeordnet, bei denen ein menschlicher Beurteiler manchmal eine ganz andere Zuteilung vornehmen würde. Dennoch ist die Studie von Malaterre aufschlussreich, da eine Reihe von Risikofaktoren identifiziert werden konnte (unterteilt nach Fahrer, Fahrumwelt, Fahrzeug und Verkehrsfluss), die zur Unfallentstehung beitragen. Zudem wurde für die Analyse ein System zur Kategorisierung der verschiedenen Fehlerarten des Fahrers verwendet, das Ähnlichkeit mit handlungstheoretischen Modellen hat und an das Schema von Rasmussen (1982) erinnert (Malaterre, 1990, S. 1407), das auch für die vorliegende Untersuchung verwendet wurde.

2.7.1.5 Fazit zu bisher verwendeten Fehlerklassifikationssystemen zur Unfallanalyse

Ein genauer Blick auf die bisher verwendeten Fehlerklassifikationssysteme zur Unfallanalyse ist

eher ernüchternd. Obwohl alle Systeme teilweise sehr vernünftige Ansätze aufweisen, sind sie jedoch bei genauer Betrachtung etwas willkürlich. Dies liegt daran, dass ihnen kein fundiertes theoretisches Konzept zugrunde liegt, sondern dass die Kategorien nach dem persönlichen Ermessen der jeweiligen Autoren geschaffen wurden. Dies erklärt auch die teilweise erheblichen Unterschiede im Inhalt und in der Anzahl der verwendeten Kategorien.

Problematisch an den oben beschriebenen Klassifikationssystemen ist zum einen die Aufteilung (und damit Wertung nach Wichtigkeit) zwischen Hauptursachen und Risikofaktoren (z. B. Böhm et al. 1965 oder Shinar et al. 1978); die starre Unterscheidung trägt zudem nicht der Tatsache Rechnung, dass dieselbe Variable – je nach Grad ihrer Ausprägung – im einen Fall „nur" ein Risikofaktor sein kann (z. B. *leichte* Alkoholisierung), in einem anderen Fall jedoch die Hauptursache (z. B. *starke* Alkoholisierung)

Zum anderen fehlen in einigen Systemen teilweise wichtige Kategorien (v. a. Otte et al., 1982). Dies ist problematisch, denn wenn nach bestimmten Ursachen oder Fehlern gar nicht gesucht wird, weil dafür keine entsprechende Kategorie vorhanden ist, können diese natürlich auch nicht gefunden werden. Wichtige Fehler bleiben dadurch unentdeckt. Auf der anderen Seite wird eigentlich nebensächlichen Einflussfaktoren durch die Schaffung einer eigenen Kategorie viel zu großes Gewicht beigemessen (z. B. „Durchbruch natürlicher Verhaltenstendenzen" als Hauptursache bei Böhm et al., 1965). Dies ist ebenfalls nicht unproblematisch, da eine Kategorie, die vorhanden ist, einen Rater in gewisser Weise geradezu dazu einlädt, sie zu benutzen. Dadurch erfährt eine bestimmte Ursache eine Beachtung, die eigentlich nicht angemessen ist, v. a. dann, wenn auf der anderen Seite Ursachenkategorien fehlen, die viel wichtiger sind.

Der gröbste Fehler ist hingegen die Vermischung von zwei verschiedenen Ebenen, nämlich konkreten, beobachtbaren Verhaltensweisen und den mentalen Prozessen, die diesen Verhaltensweisen zugrunde liegen. Diesen schweren sachlichen Fehler begehen insbesondere Shinar et al. (1978) und Kemp et al. (1972). Eine Beschreibung einer Handlung, die zu einem Unfall führte, und ihre Bewertung als „falsch" ist noch lange keine Ursachenanalyse (z. B. „Unzweckmäßiges Ausweichmanöver", „Mangelhafte Richtungskontrolle" bei Shinar et al., 1978 oder „Falsches Überholen" und „Falsche Zeichengebung" bei Kemp et al., 1972). Die entscheidende Frage ist schließlich, *warum* der Fahrer etwas falsch gemacht hat, d. h. welche psychischen Prozesse (Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Kognition, Entscheiden) dieser fehlerhaften Handlung zugrunde lagen.

Solche „vermischten" Kategoriensysteme sind zur Analyse von Unfallursachen nicht wesentlich besser als die amtliche Verkehrsunfallstatistik, bei der es in erster Linie darum geht, festzustellen, welcher Fahrer etwas falsch gemacht hat und damit im juristischen Sinne schuld ist. Geht es lediglich darum, Fehler im Sinne eines konkreten Fahrverhaltens zu *beschreiben*, dann reicht die amtliche Statistik aus. Will man hingegen verstehen, *warum* ein Fehler auftrat, benötigt man psychologische Fehlerklassifikationssysteme, denen ein fundiertes Modell menschlichen Handelns zugrunde liegt. Dies ist bei den handlungstheoretischen Modellen der Fall, die im Folgenden beschrieben

werden. Sie sind eine bessere Alternative zu den bisher verwendeten Klassifikationssystemen und werden daher als Grundlage für die vorliegende Untersuchung verwendet.

2.7.2 Handlungstheoretische Modelle zur Fehlerklassifikation

2.7.2.1 Das Vier-Stufen-Modell der Informationsverarbeitung nach Wickens

Da die oben beschriebenen, für frühere Untersuchungen verwendeten Klassifizierungssysteme für Unfallursachen erhebliche Schwächen aufweisen, wurde für die vorliegende Studie ein Fehlerkategorisierungssystem verwendet, das auf einem handlungstheoretischen Modell basiert. Ein in der Ingenieurspsychologie häufig verwendetes und allgemein akzeptiertes Modell ist das Vier-Stufen-Modell der Informationsverarbeitung nach Wickens (1992, S. 17). Es stellt eine allgemeine Architektur von kognitiven Funktionen dar, auf denen alle Handlungen – und damit auch fehlerhafte – basieren.

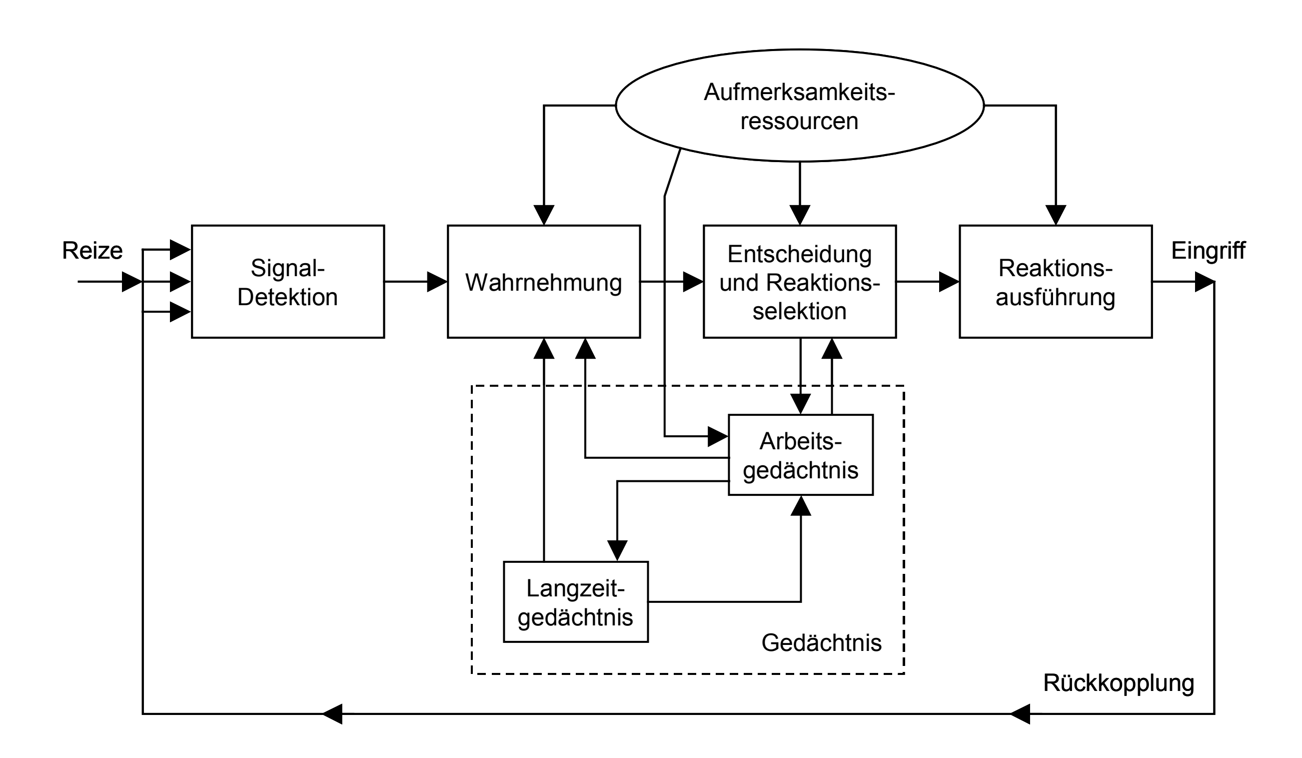


Abbildung 4: Das Vier-Stufen-Modell der Informationsverarbeitung nach Wickens (1992, S. 17)

Der Grundgedanke dieses Modells ist die Annahme, dass Information eine Reihe von Stationen oder mentalen Operationen durchläuft, die zwischen Reizaufnahme und Handlungsausführung vermitteln. Wie aus der obigen Abbildung zu entnehmen ist, treffen verschiedene Reize auf Sinnesorgane und werden dort kurzeitig gespeichert. Diese Reize durchlaufen einen Prozess der

Mustererkennung, der Organisation von Einzelmerkmalen zu bedeutungsvollen Einheiten und der Identifizierung (= *Wahrnehmung*). In einem nächsten Schritt fällt die Entscheidung, wie mit dieser Information umzugehen ist und ob bzw. wie darauf reagiert werden soll *(= Entscheidung und Reaktionsselektion*). Diese Entscheidung beeinflusst dann die Ausführung einer Handlung (= *Reaktionsausführung*).

Die letzten drei Stationen werden von *Aufmerksamkeitsprozessen* gesteuert. Zudem beeinflussen *Gedächtnisprozesse* Wahrnehmung und Entscheiden. Die gesamte Sequenz geht in eine Rückkopplungsschleife über, die es ermöglicht, die ausgeführten Handlungen zu überwachen und gegebenenfalls anzupassen.

Diese theoretische Beschreibung soll durch ein Beispiel aus dem Straßenverkehr erläutert werden:

Ein Fahrer fährt bei Dunkelheit auf einer kurvenreichen Strecke, die durch einen Wald führt. An einer Stelle ein Stück weiter voraus tritt ein Tier aus dem Gebüsch heraus und tritt auf die Fahrbahn. Nach dem Informationsverarbeitungsmodell von Wickens (1992), laufen nun folgende Prozesse ab:

Die von dem Tier reflektierten Lichtstrahlen treffen auf die Netzhaut im Auge des Fahrers, wo ein Abbild dieses Tiers entsteht (= *Signaldetektion*). Diese Reize auf den Reizrezeptoren werden im Gehirn des Fahrers weiterverarbeitet: Der Fahrer erkennt, dass es sich bei dem sich bewegenden Etwas um ein Tier handelt. Ein Abgleich mit Informationen aus seinem Langzeitgedächtnis, ermöglicht es ihm zudem zu identifizieren, um welches Tier es sich handelt. Aufgrund des Umrisses und der Bewegung dieses Tiers kommt der Fahrer zu dem Schluss, dass es sich hierbei wohl um ein Reh und nicht um ein Wildschwein oder einen Igel handelt (= *Wahrnehmung*).

Der Fahrer erkennt, dass die Gefahr eines Zusammenstoßes droht, und muss nun entscheiden, wie er reagiert (= *Entscheidung und Reaktionsselektion*). Er hat die Möglichkeit, zu bremsen oder nicht zu bremsen sowie auszuweichen oder geradeaus weiterzufahren. Wie er sich entscheidet, hängt u. a. von seinen bisherigen (im Gedächtnis gespeicherten) Lernerfahrungen ab. So können zum Beispiel bisher gemachte Fahrsicherheitstrainings, bisherige Erfahrungen mit Wildunfällen oder bestimmte internalisierte Regeln (z. B. bei einem Tier niemals ausweichen, sondern nur bremsen!) seine Entscheidung in die eine oder andere Richtung beeinflussen.

Nachdem er sich für eine Option entschieden hat, führt er die Reaktion aus, d. h. er tritt z. B. auf die Bremse und lenkt nach links (= *Reaktionsausführung*). Nach dem Lenken sieht er, dass er mit seinem Auto auf die Gegenfahrbahn kommt. Über die Rückkopplungsschleife erhält der Fahrer ein Feedback über seine Handlung. Die aufgenommene Information durchläuft erneut die oben beschriebenen Stationen der Informationsverarbeitung. Der Fahrer erkennt, dass er nach links von der Fahrbahn abzukommen droht und lenkt wieder nach rechts zurück.

Bei all diesen Stationen können Fehler auftreten. So kann es z. B. sein, dass es zu einer verspäteten oder gar keiner Signaldetektion kommt, z. B. weil der Fahrer nicht das Fernlicht, sondern nur

das Abblendlicht eingeschaltet hat, so dass das Tier erst viel später von einer Lichtquelle angestrahlt wird und damit erst später sichtbar ist. Oder er könnte seinen Blick auf ein Objekt im Fahrzeug gerichtet haben, so dass das Abbild des Tiers gar nicht auf seine Netzhaut fällt.

Zudem beeinflussen Aufmerksamkeitsprozesse die gesamten weiteren Stufen der Informationsverarbeitung. Ist der Fahrer z. B. sehr müde, wird er das Tier erst später erkennen und seine Reaktion wird verzögert. Da die Aufmerksamkeitsressourcen begrenzt sind, können durch eventuelle parallel durchgeführte Nebenaufgaben (z. B. eine Unterhaltung mit dem Beifahrer), die ebenfalls Aufmerksamkeit in Anspruch nehmen, das Entscheiden oder die Reaktionsausführung beeinträchtigt werden. Bei der Ausführung der Handlung können ebenfalls Fehler auftreten, z. B. wenn der Fahrer ein Lenkmanöver durchführen möchte, aber in diesem Moment nur eine Hand am Lenkrad hat, wodurch er nicht so sicher und präzise lenken kann, oder wenn er in einer Hand gerade ein Handy hält.

Auch durch Interaktionen mit dem Gedächtnis kann es zu Fehlern kommen: Beispielsweise kann er eine falsche Regel gespeichert (regelbasierter Fehler) haben, die in der kritischen Situation abgerufen wird (z. B. „Bei Tieren muss man immer ausweichen!“). Eine andere Möglichkeit ist, dass beim Fahrer ein Wissensdefizit vorhanden. So könnte der Fahrer z. B. meinen, dass man grundsätzlich nie vollbremsen und lenken gleichzeitig dürfe, weil man sonst leicht ins Schleudern käme. Da sein Fahrzeug aber ABS besitzt, das auch bei einer Vollbremsung eine Manövrierbarkeit ermöglicht, trifft er die falsche Entscheidung und verzichtet bei seinem Lenkmanöver auf eine Vollbremsung (wissensbasierter Fehler). Bei der Interaktion mit dem Arbeitsgedächtnis kann z. B. der Fehler auftreten, dass der Fahrer im kritischen Moment nicht daran denkt, dass er sein Fahrzeug stark beladen hat, und dieses daher bei einem abrupten Lenkmanöver ganz anders reagiert als in unbeladenem Zustand.

Die Beispiele machen deutlich, dass es sich beim Informationsverarbeitungsmodell von Wickens um ein hervorragendes Modell zur Analyse menschlicher Fehler handelt, das sich auch für die Analyse von Verkehrsunfällen sehr gut eignet. Durch dieses theoretische Konzept ist – im Gegensatz zu den in früheren Studien verwendeten Ursachenkategorien – sichergestellt, dass auch tatsächlich die den Unfällen zugrundeliegenden psychischen Prozesse analysiert werden und nicht eine Vermischung von psychischem Prozess, beobachtbarer Fehlverhaltensweise und Unfallhergang stattfindet.

2.7.2.2 Das Modell der internalen Fehlfunktion nach Rasmussen

Das Modell der internalen Fehlfunktion nach Rasmussen (1982) basiert auf demselben Informationsverarbeitungsansatz wie das Modell von Wickens. Während jedoch Wickens allgemein ein Modell für menschliches Handeln aufstellt, das ebenso für *nicht* fehlerhafte Verhaltensweisen gültig

ist, stellt das Modell von Rasmussen einen expliziten Algorithmus zur Klassifikation von Fehlern dar. Es zielt auf die Identifizierung des Schrittes zwischen Informationsaufnahme und Handlungsausführung. Dabei geht das Schema von einer rein sequentiellen Verknüpfung aus (siehe Abbildung 5!). Das Rasmussen-Schema wurde von Wiegmann und Shappell (1997) adaptiert für die Untersuchung von Flugzeugunglücken und hat sich dafür als sehr geeignet herausgestellt. Die hier abgebildete Version ist eine Anpassung von Zimmer (2001) für das Fahren von Fahrzeugen.

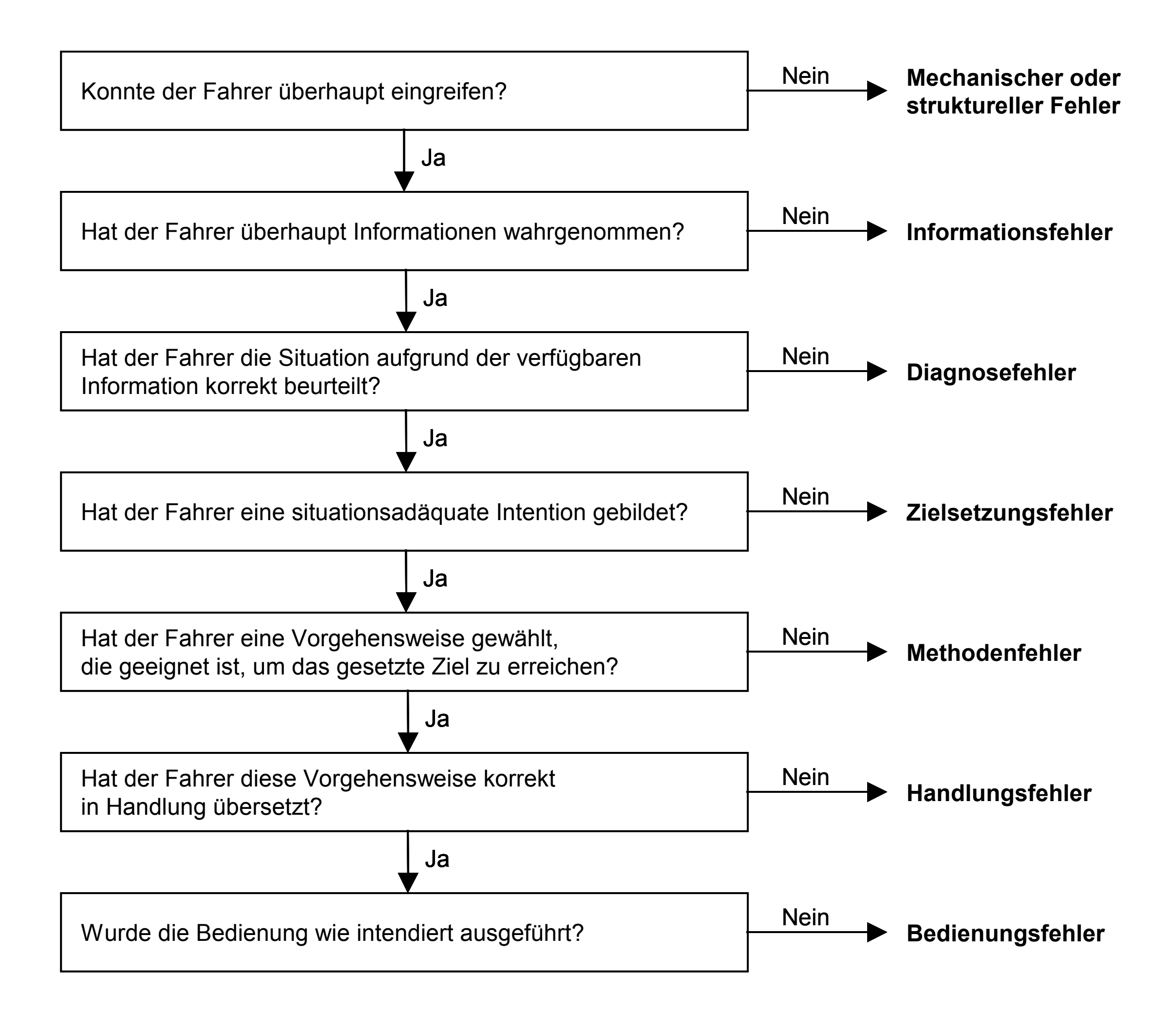


Abbildung 5: Das Modell der internalen Fehlfunktion nach Rasmussen (1982), adaptiert von Zimmer (2001) für die Fahrzeugführung

Die Ähnlichkeit mit den vier Stationen des Wickens-Modells ist offensichtlich; bei Rasmussen sind jedoch die Stationen *Entscheidung und Reaktionsselektion* sowie *Reaktionsausführung* des Wickens-Modells genauer aufgeschlüsselt. Im Folgenden soll der Fehlerklassifikationsalgorithmus von Rasmussen anhand desselben oben genannten Beispiels erläutert werden:

Die erste Frage „Konnte der Fahrer überhaupt eingreifen?“ klärt, ob der Fahrer überhaupt eine

Möglichkeit hatte, den Unfall zu verhindern. Läuft z. B. das Tier (Reh) dem Fahrer bei Geschwindigkeit von 100 km/h fünf Meter vor ihm vor das Auto, ist die zur Verfügung stehende Zeit für eine Reaktion viel zu kurz, als dass der Fahrer durch sein Handeln einen Zusammenstoß hätte verhindern können. In diesem Fall hätte der Fahrer überhaupt keinen Fehler gemacht und es würde sich hierbei um einen *strukturellen Fehler* handeln. Bei einem Reifenplatzer (technischer Defekt) beispielsweise würde man von einem *mechanischem Fehler* sprechen (siehe Schema!).

Als *Informationsfehler* wird ein Fehler eingestuft, wenn der Fahrer handlungsrelevante Information gar nicht oder zu spät wahrgenommen hat, z. B. weil er nicht auf die Straße gesehen hat, abgelenkt war oder Ähnliches (vgl. auch Rumar, 1990, S. 1282 ff). Ein *Diagnosefehler* liegt z. B. dann vor, wenn der Fahrer zwar erkennt, dass am Fahrbahnrand ein Reh steht, aber sich denkt, dass das Tier ihm schon nicht vor das Auto laufen wird und deswegen seine Fahrt unvermindert fortsetzt, ohne vom Gas zu gehen bzw. zu bremsen und das Tier dennoch auf die Straße läuft. Andere Beispiele sind das falsche Einschätzen der Absichten anderer Verkehrsteilnehmer, v. a. aber das falsche Einschätzen von Entfernungen und Geschwindigkeiten anderer Fahrzeuge (z. B. beim Überholen).

Ein Zielsetzungsfehler liegt vor, wenn der Fahrer sich für ein falsches Handlungsziel entscheidet, z. B. wenn der Fahrer bei einem kleinen Tier (z. B. Igel, Hase usw.) und gleichzeitig hoher Geschwindigkeit versucht, dem Tier auszuweichen. Auch wenn dies vielleicht unter Naturschutzaspekten richtig sein mag, so ist es jedoch unter Sicherheitsaspekten immer falsch, da das Risiko groß ist, durch eine zu starke Lenkreaktion mit dem Fahrzeug ins Schleudern zu kommen. Ein anderer Zielsetzungsfehler ist es, bei einem (großen) Tier oder einem anderen Fahrzeug, das die eigene Fahrspur von rechts nach links quert, selbst ebenfalls nach links auszuweichen – ein Ausweichen nach rechts könnte hier einen Zusammenstoß verhindern.

Ein Methodenfehler liegt dann vor, wenn der Fahrer zur Erreichung seines Ziels mehrere Möglichkeiten hat, davon jedoch eine falsche auswählt. Viele sinnvolle Beispiele lassen sich für diese Fehlerart allerdings nicht finden. Dies liegt daran, dass im Bereich Straßenverkehr die Zahl der Möglichkeiten, ein gesetztes Ziel zu erreichen, in der Regel stark begrenzt ist. Anders ist dies dagegen beispielsweise bei der Steuerung und Überwachung komplexer technischer Anlagen (für die das Rasmussen-Schema ursprünglich entwickelt wurde), wo es z. B. mehrere Möglichkeiten gibt, um die Temperatur in einem Reaktor zu reduzieren (Energiezufuhr reduzieren, Hitze entweichen lassen, Kühlung verstärken, Öffnen und Schließen unterschiedlicher Ventile usw.).

Für das gewählte Beispiel ließe sich allenfalls denken, dass der Fahrer sich das Ziel setzt, das Fahrzeug zum Stillstand zu bringen, er jedoch nicht die Fußbremse betätigt, sondern die Handbremse zieht – doch dies ist natürlich etwas an den Haaren herbeigezogen. Grundsätzlich sind im Straßenverkehr durch die sehr beschränkte Auswahl an Handlungsmöglichkeiten, die dem Fahrer in einer kritischen Situation zur Verfügung stehen (Lenken, Bremsen, Gas geben) und der geringen Zeitspannen im Sekundenbereich, innerhalb derer eine Reaktion erfolgen muss, nicht viele Fehler

dieser Art zu erwarten.

Von einem Handlungsfehler ist auszugehen, wenn der Fahrer die Handlung, die zur Erreichung seines Ziels führt, falsch ausführt. Konkret sind dies Fehler bei der Ausführung eines Bewegungsablaufs, z. B. wenn der Fahrer bei einem Ausweichmanöver vor einem Tier zu stark lenkt, oder nach oder einer ersten Lenkbewegung keine Gegenlenkbewegung mehr ausführt. Möglich ist auch, dass der Fahrer nach einer ersten Lenkbewegung in Panik gerät, weil sich das Fahrzeug aufschaukelt, und daraufhin eine zu starke Gegenlenkbewegung ausführt (= Pendelschlag).

Ein Bedienungsfehler schließlich liegt vor, wenn bei der Handlungsausführung ein Fehler an der Mensch-Maschine-Schnittstelle auftritt, beispielsweise wenn der Fahrer bei einer Vollbremsung mit dem Fuß vom Bremspedal abrutscht oder dieses nicht voll trifft oder wenn er gar Gas und Bremse verwechselt.

Diese Fehlerklassifikation nach Rasmussen ist ein äußerst wirkungsvolles Instrument bei der Untersuchung von Verkehrsunfällen. Der größte Vorteil liegt in ihrer lückenlosen Erfassung aller zwischen Informationsaufnahme und Handlungsausführung liegenden Zwischenschritte, an denen Fehler auftreten können. Durch die genaue Formulierung der Bedingung ist es möglich, die auf menschlichen Fehlern basierenden Unfälle *exakt* zu bestimmen, und nicht wie bei den oben beschriebenen Klassifikationssystemen sich überlegen zu müssen, mit welchen Ursachenkategorien der jeweilige Unfall etwas gemeinsam hat (bei Mehrfachnennungen) oder in welche der wenigen Kategorien er noch am ehesten passt (bei ausschließlicher Nennung einer einzigen Hauptursache, wie z. B. bei Otte et al., 1982).

Die genaue Bestimmung der Fehlerart nach Rasmussen gibt zudem unmittelbare Hinweise für Ansatzpunkte zur Verbesserung der Mensch-Maschine-Schnittstelle im Fahrzeug. Beispielsweise können Bedienungsfehler ein Hinweis auf mögliche Schwachstellen in der ergonomischen Gestaltung von Bedienelementen sein. Informationsfehler zeigen v. a. das Potenzial von Fahrerassistenzsystemen mit Informationsfunktion auf, wobei die Art der fehlenden oder zu spät erhaltenen Information teilweise konkrete Hinweise für die Funktionalität und Gestaltung dieser Systeme liefern kann.

2.7.2.3 *Das Modell der gefährdenden Verhaltensweisen nach Reason*

Einen etwas anderen Ansatz der Fehlerklassifizierung hat das Modell der gefährdenden Verhaltensweisen nach Reason (1990).

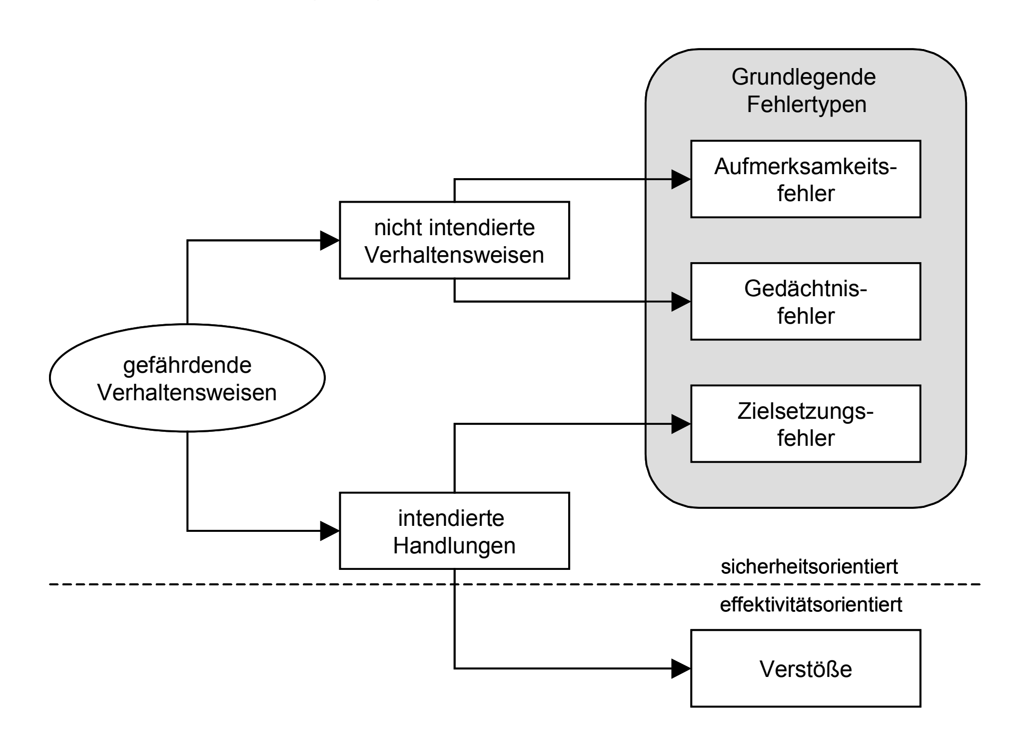


Abbildung 6: Das Modell der gefährdenden Verhaltensweisen nach Reason (1994, S. 255)

Reason unterscheidet *gefährdende Verhaltensweisen* (unsafe acts) in *nicht intendierte Verhaltensweisen* und *intendierte Handlungen*. *Nicht intendierte Verhaltensweisen* lassen sich wiederum aufteilen in *Aufmerksamkeitsfehler* (slip) und *Gedächtnisfehler* (lapse). Zusammen mit den *Zielsetzungsfehlern* (mistake), die eine Teilmenge der *intendierten Handlungen* sind, stellen sie die *grundlegenden Fehlertypen* dar (basic error types).

Aufmerksamkeitsfehler sind ungefähr das, was Rasmussen als *Informationsfehler* bezeichnen würde (Reason, 1994, S. 254 ff), jedoch auch Fehler beim Ausführen einer Handlung, für die Rasmussen die Bezeichnungen *Handlungsfehler* und *Bedienungsfehler* verwendet. *Gedächtnisfehler* könnten auch als Informationsverarbeitungsfehler bezeichnet werden. Gemeint sind damit Fehler, die dadurch entstehen, wenn z. B. bei längeren Handlungssequenzen Zwischenschritte vergessen werden oder der Abruf einer aktuell handlungsrelevanten Information aus dem Arbeitsgedächtnis scheitert. Dies kann z. B. dann der Fall sein, wenn der Fahrer ein Warnschild (z. B. Achtung, Wildwechsel!) wahrnimmt, darauf mit Geschwindigkeitsreduzierung und erhöhter Aufmerksamkeit rea-

giert, aber kurze Zeit darauf vergessen hat, dass dort ein Warnschild stand, so dass er wieder wie gewohnt weiterfährt. Ein anderes Beispiel ist, wenn der Fahrer bei einem Brems- oder Ausweichmanöver nicht daran denkt, dass sein Fahrzeug stark beladen ist und damit anders als gewohnt reagiert.

Unter Zielsetzungsfehlern (mistake) versteht Reason *regelbasierte* und *wissensbasierte Fehler*: Ein *regelbasierter Fehler* kann die falsche Anwendung einer guten Regel sein (z. B. „Bei Gefahr muss man bremsen!" Wenn jedoch die Gefahr darin besteht, dass ein anderer nachfolgender Fahrer bei hoher Geschwindigkeit viel zu dicht auffährt, dann ist Bremsen die falsche Reaktion). Eine andere Art eines *regelbasierten Fehlers* ist die Anwendung einer schlechten Regel (z. B. „Bei Tieren auf der Fahrbahn muss man immer ausweichen!"). *Wissensbasierte Fehler* sind Fehler, die durch ein Wissensdefizit des Fahrers entstehen, z. B. wenn er Verkehrsregeln nicht kennt bzw. falsch verstanden hat oder wenn er ein falsches mentales Modell von einem Fahrerassistenzsystem besitzt.

Der wichtigste Unterschied des Modells von Reason im Vergleich zum Modell von Rasmussen sind jedoch die sogenannten *Verstöße* (violation) als ein Teilbereich der *intendierten Handlungen*. Ein Verstoß liegt vor, wenn ein Fahrer absichtlich gegen eine bestimmte Vorschrift oder Regel verstößt. Beispiele für Verstöße sind eine absichtlich überhöhte Geschwindigkeit, ein zu geringer Sicherheitsabstand oder die bewusste Missachtung eines Verkehrszeichens.

Für die Klassifikation der Ursachen von Verkehrsunfällen ist es absolut notwendig, eine Kategorie zu haben, mit der absichtliche Regelverletzungen erfasst werden können. Ein Klassifikationssystem, das diese Kategorie nicht vorsieht, geht von einem naiven und idealistischen Menschenbild aus, das (leider) der Realität im Straßenverkehr nicht gerecht wird. Das Verstoßen gegen Verkehrsvorschriften gehört ebenso zum Alltag im Straßenverkehr wie die zahlreichen Unfälle, die durch dieses Verhalten verursacht werden. Dies musste auch die Arbeitsgruppe von Böhm et al. (1965) erkennen, die für ihre Untersuchung das Schema von Undeutsch (1962) benutzten, dieses jedoch um die Kategorie „Bewusst regelwidriges Verhalten" erweiterten.

Dass Verstöße im Straßenverkehr vorkommen, kann überhaupt nicht ernsthaft bezweifelt werden (vgl. auch Reason; Menstead et al., 1990; Aberg & Rimmö, 1998). Die Frage ist allenfalls, welche Verhaltensweisen als Verstöße gewertet werden sollen. Böhm et al. (1962) beispielsweise kamen in ihrer Untersuchung lediglich auf einen „Verstoß-Anteil" von 3.7 Prozent an allen Verkehrsunfällen. Der Grund liegt wohl hauptsächlich darin, dass Böhm et al. häufige Verstöße wie „nicht angepasste Geschwindigkeit" der Kategorie „Eile" (34.6 %) und einen zu geringen Sicherheitsabstand zum Vorausfahrenden der Kategorie „Eingeschliffene Verhaltensweisen und Gewohnheiten" (25.3 %) zuteilen.

Der Name der letztgenannten Kategorie ist dabei bezeichnend. Dahinter verbirgt sich die irrige Annahme, dass eine Regelverletzung dann nicht mehr als Verstoß zu bezeichnen ist, wenn man permanent eine bestimmte Regel verletzt. Es sei dann eben eine Gewohnheit. Abgesehen von

dieser etwas merkwürdigen Rechtsauffassung stimmt dies aus Sicht der Verkehrssicherheit bedenklich, da gefährdende Verhaltensweisen dadurch verharmlost werden. Nur weil die meisten Autofahrer meistens zu schnell fahren, ist dies noch lange kein Grund, diesen Verstoß nicht mehr als Verstoß zu bezeichnen.

Sicher ist es richtig, dass ein Fahrer, der auf einer Strecke die meiste Zeit zu schnell fährt, nicht bei jeder Betätigung des Gaspedals den Entschluss fasst, die vorgeschriebene Geschwindigkeit zu überschreiten. Doch dies ist auch nicht notwendig für eine Bezeichnung seines Verhaltens als Verstoß. Reason (1994) unterscheidet bei Verstößen zwischen *Ausnahmeverstößen* und *Routineverstößen*. Reason:

> In diesem weiten Hinterland absichtlicher, aber nicht bösartiger Regelverstöße kann man eine weitere grobe Zweiteilung in Routineverstöße und Ausnahmeverstöße vornehmen. Routineverstöße erfolgen weitgehend gewohnheitsmäßig und bilden einen festgefügten Teil des Verhaltensrepertoires eines Individuums; bei Ausnahmeverstößen handelt es sich um einzelne Verstöße, die unter bestimmten Umständen auftreten. Der Bereich des Straßenverkehrs bietet vielfältige Beispiele für Routineverstöße. (S. 242)

Es gibt also keinen Grund, eine absichtliche Regelverletzung nicht als Verstoß zu bezeichnen, nur weil ein Fahrer diese Regelverletzung gewohnheitsmäßig begeht. Bei Routineverstößen durch eine große Anzahl von Personen besteht jedoch Anlass, zu hinterfragen, aus welchem Grund diese Verstöße so häufig begangen werden. Hier fährt Reason fort:

> Besonders zwei Faktoren scheinen bei der Ausformung gewohnheitsmäßiger Verstöße wichtig zu sein: (a) Die natürliche Neigung des Menschen, den Weg der geringsten Anstrengung zu gehen; und (b) eine relativ uninteressierte Umgebung (das heißt eine Umgebung, in der Verstöße selten bestraft werden oder das Befolgen von Regeln selten belohnt wird). (S. 242)

Das Ausbleiben negativer Konsequenzen ist sicherlich der Hauptgrund für die zahlreichen, sicherheitsgefährdenden Verstöße. So geht das Verhältnis zwischen entdeckten und nicht entdeckten Geschwindigkeitsübertretungen gegen Null. Noch geringer ist die Wahrscheinlichkeit wegen eines zu geringen Sicherheitsabstands erwischt zu werden. Selbst bei Fahren unter Alkoholeinfluss ist die Wahrscheinlichkeit einer Entdeckung gering. Sie liegt bei 1:300 ab 1.3 Promille und bei 1:600 ab 0.8 Promille Blutalkoholkonzentration (Hilse, 1991, S. 77).

Gewohnheit ist also kein Argument, das gegen eine Bezeichnung einer absichtlichen Regelverletzung als Verstoß spricht. Damit bleibt noch zu klären, was eigentlich im Straßenverkehr unter einer Regel zu verstehen ist: Keineswegs ist dabei nur an eine Nichtbeachtung von Verkehrszeichen zu denken. Vielmehr ist der Regelbegriff in einer allgemeineren Art zu verstehen, wie er auch im ersten Paragraphen der Straßenverkehrsordnung (StVO) zum Ausdruck kommt:

§ 1 StVO:

(1) Die Teilnahme am Straßenverkehr erfordert ständige Vorsicht und gegenseitige Rücksicht.

(2) Jeder Verkehrsteilnehmer hat sich so zu verhalten, dass kein Anderer geschädigt, gefährdet oder mehr, als nach den Umständen unvermeidbar, behindert oder belästigt wird.

Entscheidend für eine Klassifikation als Verstoß ist der Aspekt der Verkehrssicherheit. Es geht überhaupt nicht um eine sklavische Einhaltung von Normen, sondern um die Frage, ob durch die Übertretung von Regeln die Sicherheit anderer Verkehrsteilnehmer gefährdet wird. Daher kann es auch ein Verstoß sein, mit sehr hoher Geschwindigkeit über die Autobahn zu fahren, da dies bei gleichzeitig vorhandenen deutlich langsamer fahrenden Verkehrsteilnehmern leicht zu gefährlichen Situationen führen kann. Zwar gibt es auf deutschen Autobahnen kein generelles Tempolimit, dies ist aber dennoch keine Erlaubnis zum Rasen auf Autobahnen. Paragraph 1 der StVO sagt ausdrücklich, dass durch solches Verhalten keine anderen Verkehrsteilnehmer gefährdet werden dürfen.

Dasselbe gilt z. B. für das Befahren einer sehr unübersichtlichen, engen Straße in einem Wohngebiet, an der zu beiden Seiten Autos parken. Auch wenn dort grundsätzlich 50 km/h zulässig sind, kann diese Geschwindigkeit in dieser Situation dennoch viel zu schnell und damit sehr gefährlich sein. Die Betonung liegt hier eben auch auf *Höchst*geschwindigkeit. Ein anderes Beispiel ist Autofahren trotz sehr starker Müdigkeit, wenn dem Fahrer bewusst ist, dass er sehr müde ist, er aber dennoch fährt.

Auf der anderen Seite ist jedoch auch eine Abgrenzung in die andere Richtung nötig: Nicht jede Verhaltensweise, die den Vorschriften der StVO widerspricht, also ein Verstoß im juristischen Sinn, ist auch ein Verstoß im psychologischen Sinn. Gerade Polizisten neigen dazu, die Ursache der allermeisten Verkehrsunfälle darin zu sehen, dass Menschen gegen die Vorschriften der StVO „verstoßen". Der Polizist wie auch der Jurist sprechen z. B. von einem „Verstoß" wenn ein Unfall dadurch passiert, weil ein Verkehrsteilnehmer einem anderen nicht die Vorfahrt gewährt hat. Ob dies absichtlich geschah oder ob dies ein Versehen war (z. B. weil der Unfallgegner übersehen wurde oder weil seine Geschwindigkeit falsch eingeschätzt wurde) interessiert sie nicht. Für den Psychologen ist jedoch die Absichtlichkeit der Handlung eine zentrale Frage; denn bei einer nicht beabsichtigten Verhaltensweise würde es sich um einen Fehler handeln.

Das Reason-Modell ist eine sinnvolle Ergänzung zum Rasmussen-Schema, da Verstöße einen nicht unerheblichen Anteil von Verkehrsunfallursachen ausmachen. Aus diesem Grund wird es in der vorliegenden Untersuchung verwendet, um zwischen Fehlern und Verstößen zu unterscheiden. Bei der Bestimmung der Fehlerart wird allerdings das Rasmussen-Schema verwendet, da es ge-

nauer definiert ist und daher eine präzisere Fehlerklassifikation ermöglicht.

2.7.2.4 Fehlerklassifikation nach Hacker

Von Hacker (1999, S. 680-693) stammt eine Fehlerklassifikation, die die Modelle von Rasmussen und Reason miteinander vereint und noch etwas weiter differenziert. Das hier wiedergegebene Schema wurde an die Erfordernisse für eine Klassifikation von Verkehrsunfällen angepasst; die von Hacker benutzten (oft etwas umständlichen) Begriffe für bestimmte Fehler wurden durch die von Rasmussen und Reason verwendeten Begriffe ersetzt, sofern inhaltlich dasselbe damit gemeint ist, um deutlich zu machen, dass es hierbei nicht um eine völlig neue Klassifikation handelt, sondern um eine weitere Differenzierung und Visualisierung in einem einzigen, großen Schema.

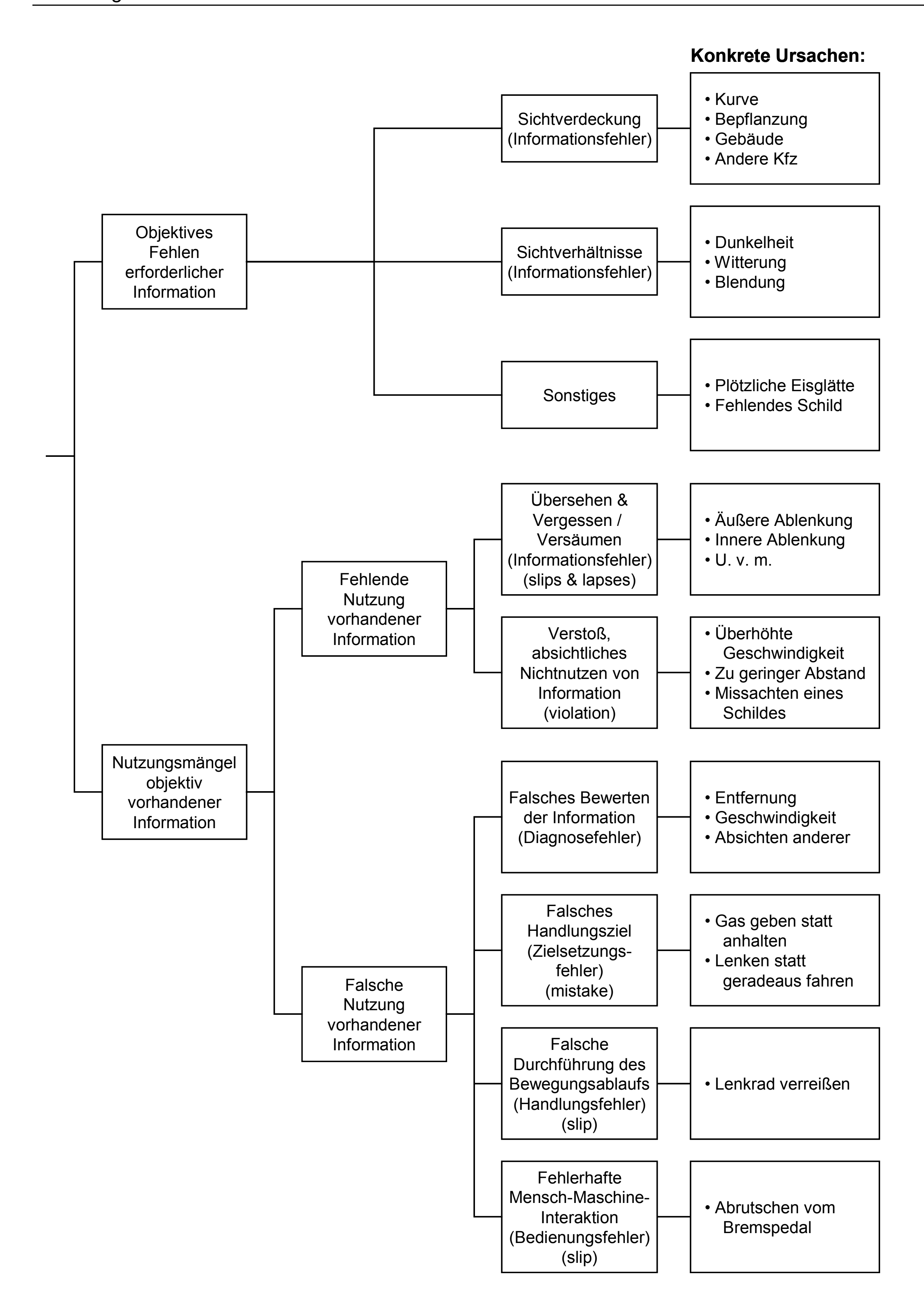


Abbildung 7: Fehlerklassifikation nach Hacker (1998, S. 692), angepasst an die Erfordernisse für eine Klassifikation von Verkehrsunfällen und ergänzt um Beispiele aus dem Straßenverkehr

Nach Hacker lässt sich bei einem Unfall zuerst unterscheiden, ob handlungsrelevante, notwendige Information objektiv gefehlt hat, oder ob sie vorhanden war, jedoch Probleme bei der Nutzung dieser Information auftraten. Ist Information nicht vorhanden, kann dies im Straßenverkehr v. a. daran liegen, dass dem Fahrer die Sicht verdeckt ist (z. B. durch unübersichtliche Kurven, Fahrbahnrandbepflanzung, andere Fahrzeuge usw.) oder dass die Sichtverhältnisse schlecht sind (z. B. wegen Dunkelheit, Nebel, Regen, Schneefall, Sonnenblendung usw.). Beides kann zu Informationsfehlern führen, das heißt, die relevante Information wird gar nicht oder zu spät wahrgenommen. In dem Modell von Wickens würde dies bedeuten, dass ein Reiz die Sinnesrezeptoren gar nicht oder zu spät erreicht. Die Ursache dafür ist jedoch hierbei primär in den Umweltbedingungen zu suchen.

Treten Probleme bei der Nutzung objektiv vorhandener Information auf, lässt sich nach Hacker unterscheiden zwischen einer *fehlenden* Nutzung und einer *falschen* Nutzung der Information. Wird sie *absichtlich* nicht genutzt, handelt es sich (nach Reason) um einen Verstoß (z. B. Missachtung eines Schildes, zu geringer Sicherheitsabstand); wird sie *unabsichtlich* nicht genutzt (z. B. weil der Fahrer durch Dinge innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs abgelenkt ist, sich zu wenig auf das Fahren konzentriert usw.), handelt es sich (nach Rasmussen) um einen Informationsfehler. Unter einer falschen Nutzung von Information sind folgende Fehler zusammengefasst:

- Das falsche Bewerten von Information (nach Rasmussen ein Diagnosefehler)
- Die Auswahl eines falschen Handlungsziels (nach Rasmussen ein Zielsetzungsfehler, nach Reason ein „mistake“)
- Das falsche Entwerfen von Programmen (nach Rasmussen ein Methodenfehler); dieser Punkt wurde in der Grafik ausgelassen – zum einen aus Platzgründen, zum anderen da diese Fehler im Straßenverkehr kaum vorkommen (vgl. Kapitel 4.4.5, „Unfälle durch Methodenfehler“)
- Fehler in der Durchführung eines Handlungsablaufs (nach Rasmussen Handlungsfehler und Bedienungsfehler; nach Reason „slips“)

Auf der rechten Seite von Abbildung 7 sind einige konkrete Ursachen bzw. Verhaltensweisen angegeben. Die Auflistung ist selbstverständlich bei weitem nicht vollständig – es handelt sich dabei nur um Beispiele. Insbesondere die Ursachen, die einem (unabsichtlichen) Übersehen, Vergessen oder Versäumen zugrunde liegen, sind sehr zahlreich.

Das attraktive am Schema von Hacker ist seine Systematik und Übersichtlichkeit, durch die die allermeisten der für die Studie erhobenen Daten systematisch einzelnen Fehlertypen innerhalb einer hierarchischen Fehlerklassifikation zugeordnet werden können. Zwar bildet auch dieses Modell die Realität nicht ganz vollständig ab, denn sogenannte „Modus-Fehler“, bei denen das Handlungsprogramm eigentlich korrekt und nur der Modus falsch ist (Norman, 1990), kommen beispielsweise darin nicht vor, da für sie im klassischen Paradigma der Informationsverarbeitung kein Platz vorgesehen ist.

Dennoch ist dieses Schema aufgrund seiner inneren Logik und seiner theoretischen Herleitung aus etablierten Informationsverarbeitungs- und Fehlermodellen (Wickens, Rasmussen und Reason) insgesamt ein hervorragendes Modell und damit das genaue Gegenteil zu den in Kapitel 2.7.1 vorgestellten Modellen, die zur Fehlerklassifikation von Unfällen Kategorien verwenden, die sowohl in ihrer Anzahl als auch in ihrer inhaltlichen Beschreibung manchmal plausibel, manchmal wenig sinnvoll und häufig willkürlich sind.

3 Methoden

3.1 Versuchspersonen

Für die vorliegende Studie wurden in einem Zeitraum von drei Jahren – von Januar 2001 bis Dezember 2003 – insgesamt 312 Verkehrsunfälle mit 528 Fahrern untersucht. Zu diesen Unfällen wurden insgesamt 307 Interviews mit den Fahrern geführt, die an diesen Unfällen beteiligt waren, sei es als Unfallverursacher oder als Unfallbeteiligte.

Die Akquirierung der verunfallten Fahrer erfolgte aus drei Quellen: Aus der Notaufnahme zweier großer Krankenhäuser in Regensburg und durch Meldung seitens der Polizei. Die ersten für diese Studie interviewten Fahrer wurden durch zwei Krankenhäuser in Regensburg vermittelt – durch das *Klinikum der Universität Regensburg* und das *Krankenhaus der Barmherzigen Brüder*. Traf in der Notaufnahme dieser beiden Krankenhäuser ein Patient ein, der sich seine Verletzungen durch einen Verkehrsunfall mit einem Pkw oder Lkw zugezogen hatte und war der Patient in einer medizinischen Verfassung, die dem Führen eines Interviews nicht entgegenstand, erfolgte durch den diensthabenden Arzt eine telefonische Meldung an das Mobiltelefon des Psychologen. Innerhalb von 15 bis 25 Minuten nach der Meldung war dieser in der Notaufnahme des jeweiligen Krankenhauses, wo das Interview in einem persönlichen Gespräch geführt wurde.

Die Patienten wurden über Zweck und Hintergrund des Forschungsvorhabens aufgeklärt. Sie wurden informiert über die Freiwilligkeit der Teilnahme sowie die vertrauliche Behandlung der Daten und deren ausschließliche Nutzung zu wissenschaftlichen Zwecken. Da die Datenerhebung anonym war, wurden die Patienten nicht nach ihrem Namen gefragt.

Weitere verunfallte Fahrer für diese Untersuchung wurden über drei Polizeiinspektionen (PI) gemeldet, nämlich von der PI Regensburg 2, der PI Neutraubling und der Verkehrspolizeiinspektion (VPI) Regensburg. Durch die Einbeziehung von drei PI sollte eine möglichst gleichmäßige Verteilung auf verschiedene Unfallarten gewährleistet werden: Durch die PI Regensburg 2 wurden ausschließlich Verkehrsunfälle im Innerortsbereich gemeldet, durch die PI Neutraubling überwiegend Unfälle auf Landstraßen und durch die VPI Regensburg ausschließlich Unfälle auf Autobahnen.

Das Kriterium für eine Meldung durch die Regensburger Polizei war ein Verkehrsunfall, bei dem mindestens ein Pkw oder Lkw beteiligt war. Voraussetzung für eine Meldung war aus datenschutzrechtlichen Gründen das schriftliche Einverständnis der beteiligten Fahrer. Wenn dieses vorhanden war, wurden durch die Polizei per Fax der Name des Verunfallten, seine Telefonnummer, Unfallort und Unfallzeit gemeldet. Weitere Daten wurden nicht mitgeteilt.

Das Interviewen dieser verunfallten Fahrer erfolgte ausschließlich per Telefon durch einen Psychologen. Wie auch die Patienten in der Klinik wurden die Befragten über Sinn und Zweck, strenge Vertraulichkeit und Anonymität informiert.

Ab Mitte 2002 wurden nicht nur aus dem Raum Regensburg, sondern aus ganz Bayern Verkehrsunfälle durch die bayerische Polizei gemeldet. Notwendige Kriterien für eine Meldung waren, dass mindestens eine Person verletzt worden war und/oder dass mindestens ein Airbag ausgelöst hatte. Durch die Kriterien der Verletzung und Airbagauslösung sollte sichergestellt werden, schwerere Unfälle und keine Bagatellschäden gemeldet zu bekommen. Dies ermöglichte eine bessere Vergleichbarkeit mit der offiziellen Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes, in der ebenfalls nicht Unfälle *generell*, sondern (neben Unfällen mit Getöteten) hauptsächlich Unfälle *mit Personenschaden* genauer aufgeschlüsselt werden.

Die Meldung der Verkehrsunfälle erfolgte per Telefon oder Fax. Die Interviews wurden von Studentischen Hilfskräften (Studierende der Psychologie) am Telefon geführt. Die Befragten wurden über Sinn und Zweck der Verkehrsunfallforschung sowie die strenge Vertraulichkeit der Interviewinhalte informiert. Die Fahrer gaben ihr schriftliches Einverständnis zur Speicherung ihrer Daten. Alle für diese Studie erhobenen Daten wurden anonymisiert in eine Datenbank eingegeben.

3.2 Repräsentativität der untersuchten Verkehrsunfälle

Die für diese Studie untersuchten Verkehrsunfälle können grundsätzlich als repräsentativ für alle Unfälle gesehen werden.

Die in den Krankenhäusern aufgenommenen Verkehrsunfälle sind dies insofern, da es von Seiten des Klinikpersonals (außer der Beteiligung des Patienten an einem Verkehrsunfall) keinerlei Selektionskriterien gab und die Inanspruchnahme medizinischer Leistungen in den beiden größten Notaufnahmestationen in Regensburg nicht abhängig ist von der Art eines Verkehrsunfalls. Da es sich jedoch bei allen Beteiligten um Verletzte handelt, stehen ihre Unfälle eher für die schwereren Unfallereignisse, da Bagatelleunfälle häufig keine Verletzungen bei den Insassen nach sich ziehen.

Für die von den Regensburger Polizeiinspektionen gemeldeten Unfälle gilt Ähnliches: Durch die Einbeziehung von drei verschiedenen Revieren sind in der Stichprobe Unfälle im Innerortsbereich, auf Landstraßen und auf Autobahnen gleichermaßen vertreten. Eine eventuelle Verletzung des Fahrers war hier zwar nicht ausschlaggebend; da es sich jedoch ausschließlich um polizeilich erfasste Verkehrsunfälle handelt, sind jedoch auch in diesem Kollektiv eher schwerere Unfälle als Bagatelleunfälle enthalten. Auch die von der bayerischen Polizei gemeldeten Fälle können grundsätzlich als repräsentativ für die Gesamtheit aller schwereren Unfälle gesehen werden. Durch die beiden Kriterien der Verletzung und Airbagauslösung sind auch hier Bagatelleunfälle nicht vorhanden.

Ein Aspekt, der bei Überlegungen zur Repräsentativität der Stichprobe kritisch im Auge behalten werden muss, ist, dass die Teilnahme an dieser Studie freiwillig war. Jedem Fahrer war es freigestellt, ein Interview mit der Unfallforschung zu führen oder nicht. Dadurch ist es durchaus denkbar, dass bestimmte Unfalltypen, die z. B. durch besonders schwere Verstöße oder peinliche Fehler

des Fahrers verursacht wurden, in der Stichprobe unterrepräsentiert sind, weil den Fahrern Fragen zum Unfall unangenehm gewesen wären, so dass sie ein Interview ablehnten.

Dies ist jedoch ein Einwand, der für alle Untersuchungen gilt, da keine Person gezwungen werden kann, an einer Studie teilzunehmen. In dieser Studie gibt es dagegen den Vorteil, dass meist auch über diejenigen Personen, die an der Befragung nicht teilnahmen, dennoch wichtige Informationen vorhanden sind, nämlich durch (a) Zeugenaussagen von Unfallbeteiligten, (b) Unfallrekonstruktionen der technischen Mitarbeiter und (c) Informationen aus der Verkehrsunfallanzeige der Polizei.

Wenn beispielsweise (a) der Unfallverursacher ein Interview ablehnt, so können dennoch häufig durch die Zeugenaussage des interviewten Unfallgegners Rückschlüsse auf das Fehler und Verstöße des anderen gezogen werden (Beispiel: „Er hätte Vorfahrt gewähren müssen, aber er hat überhaupt nicht angehalten und ist ohne zu Schauen einfach vor mir in die Straße eingebogen!“). Zum anderen liefern (b) die Unfallrekonstruktionen der technischen Mitarbeiter durch die Analyse des Unfallhergangs wichtige Anhaltspunkte zum Verhalten eines Fahrers vor dem Unfall, z. B. Geschwindigkeiten, Beschleunigungs- und Bremsvorgänge. In der (c) Verkehrsunfallanzeige schließlich sind häufig Aussagen enthalten, die der Fahrer gegenüber der Polizei gemacht hat, sowie z. B. Messergebnisse aus Alkohol- oder Drogentests.

3.3 Führen der Interviews mit den verunfallten Fahrern

Die Erhebung der psychologischen Daten erfolgte durch ein fragebogengestütztes strukturiertes Interview mit dem Fahrer, der zumeist am Telefon, teilweise auch im direkten Kontakt befragt wurde. Zu Beginn wurde der Fahrer gebeten, zu schildern, wie sich der Unfall ereignete („Wie ist der Unfall passiert?“). Die Frage diente dazu, dass sich der Interviewer einen umfassenden Gesamteindruck vom Unfallhergang machen konnte und dass der Fahrer unbeeinflusst von vorausgehenden Fragen seine Sicht der Dinge schildern konnte und dabei alle Fakten und Details nennen konnte, die aus seiner Sicht wichtig waren. Diese allgemeine Unfallschilderung nahm einen Großteil der Zeit für das gesamte Interview in Anspruch (Gesamtdauer ca. 20 bis 40 Minuten). Während der Ausführungen des Fahrers notierte sich der Interviewer in Stichpunkten die relevanten Informationen.

Im Anschluss an die Unfallschilderung fragte der Interviewer bei Unklarheiten oder Auslassungen gezielt nach. Insbesondere wurde der Fahrer aufgefordert, sich noch einmal gedanklich in die Unfallsituation zurückzuversetzen („Bitte versuchen Sie, sich an die letzten Sekunden vor dem Unfall zu erinnern! Was haben Sie da gemacht? Was haben Sie gedacht? Wo haben Sie hingesehen? Was haben Sie gehört?“). Dies diente dazu, möglichst viele (korrekte) Details der kritischen Situation vor dem Unfall zu erinnern. Nicht nur die Wahrnehmungen und Gedanken, sondern auch das Lenk- und Bremsverhalten sowie der genaue zeitliche Ablauf waren hierfür von besonderem Interesse.

Daran anschließend folgte ein Fragenkomplex, bei dem das Verhalten des Fahrers in der Pre-Crash-Phase in einzelne Handlungsschritte (Signaldetektion, Mustererkennung, Entscheidung / Reaktionsselektion und Reaktionsausführung) aufgeteilt wurde. Die Abschnitte folgten dem *Vier-Stufen-Modell der Informationsverarbeitung* nach Wickens (1992) (vgl. Kapitel 2.7.2.1) und die konkreten Fragen dazu dem Fehlerklassifikationsschema nach Rasmussen (1982) (siehe Anhang Kapitel 2.7.2.2). Diese Fragen waren gleichzeitig Grundlage für eine spätere Fehleranalyse.

In der dritten Phase des Interviews wurden dem Fahrer sehr detaillierte, standardisierte Fragen zum Unfall gestellt. Das Vorgehen beim Führen des Interviews orientierte sich damit sehr stark an den Kriterien des *kognitiven Interviews* nach Geiselman und Fisher (1989), das sich grob in drei aufeinander folgende Phasen einteilen lässt, nämlich

- *Freies Erinnern* (Schilderung durch Fahrer),
- *Verbale Hinweise* (genaueres Nachfragen zum Unfallhergang und letzten Sekunden davor),
- *Konkretes Abfragen* von Details (Betätigung von bestimmten Bedieneinrichtungen, Blickabwendungen usw.).

Der Vorteil dieser Befragungstechnik liegt darin, dass dadurch bei einer gleichzeitigen Reduzierung von fehlerhaften Erinnerungen (false memories) eine größere Menge an Details erinnert werden kann. Durch die vollständige, ausführliche Schilderung des Unfallgeschehens und das gedankliche Hineinversetzen in die Unfallsituation können gespeicherte Gedächtnisinhalte leichter und in größerer Genauigkeit wiedergegeben werden. Die ins Detail gehenden Einzelfragen, bei denen eine größere Gefahr von Suggestionen besteht, werden als letztes gestellt, nachdem der Gesamtzusammenhang des Unfalls bereits geschildert wurde und dadurch die Glaubhaftigkeit einer einzelnen Angabe vom Interviewer gut beurteilt werden kann. Das Vorgehen orientiert sich damit an den Erkenntnissen und Empfehlungen der Psychologie der Zeugenaussage. Hilgard und Loftus (1979) kamen durch zahlreiche Experimente zu dem Schluss, dass

> [...] free reports are consistently more accurate but less complete than reports obtained through specifically directed enquiry. The optimal combination is free report followed by the asking of specific questions. (S. 342, zit. nach Humphreys, 1981, S. 428)

Durch das Prinzip „vom Allgemeinen zum Speziellen“ kann zudem auch die Wahrscheinlichkeit von bewusst falschen Aussagen (v. a. Ausreden zur Entschuldigung eigener Fehler) reduziert werden. Denn wenn beispielsweise ein Fahrer bei der freien Schilderung des Unfallhergangs nichts davon erwähnt, dass er durch die Sonne geblendet wurde, dann ist eine spätere bejahende Antwort auf die Frage nach einer Blendung nicht besonders glaubwürdig. Wenn ein Unfall dadurch mitverursacht wurde, dass der Fahrer geblendet wurde, dann ist davon auszugehen, dass er dies auch von sich aus erwähnt, wenn er erzählt, wie es zum Unfall kam. Spätestens bei der genaueren allgemeinen Nachfrage, warum er eine bestimmte Information (z. B. Fahrbahnverlauf, vorfahrtberechtig-

ter Unfallgegner) nicht wahrgenommen hat, sollte er jedoch sagen, dass er geblendet wurde.

Umgekehrt ist es jedoch auch wichtig, es beim Interview nicht nur bei den Angaben zu belassen, die die Interviewten von sich aus machen, sondern auch gezielt nachzufragen. So kam es beispielsweise häufig vor, dass der Fahrer aussagte, sich vor dem Unfall voll auf das Fahren konzentriert zu haben, bei der späteren Nachfrage sagte er jedoch, sich zum Unfallzeitpunkt mit seinem Beifahrer unterhalten zu haben, was einer völligen Konzentration auf die Fahraufgabe widerspricht.

3.4 Der Fragebogen

3.4.1 Allgemeine Anmerkungen zur Konzeption des Fragebogens

Der Fragebogen gliedert sich in fünf thematische Bereiche: Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Kognition, Motorik und Sonstiges. Die Reihenfolge der Fragen richtete sich jedoch nicht starr nach diesen inhaltlichen Kategorien, sondern war so ausgelegt, dass sich beim Interview-Gespräch für den Fahrer eine schlüssige Abfolge und der Eindruck eines normalen, natürlichen Gesprächs ergab. Bei der Auswahl der Items für visuelle Ablenkung wurde v. a. auf die Ergebnisse der Untersuchung von Wierwille und Tijerina (1995) zurückgegriffen, die durch die Auswertung von Unfallberichten der Polizei zahlreiche Quellen der Ablenkung als Ursache von Verkehrsunfällen empirisch identifizieren konnten.

Wo immer es möglich war, wurden Items so formuliert, dass sie mit „Ja“ oder „Nein“ bzw. mit der Auswahl von vorgegebenen Antwortalternativen beantwortet werden konnten. Diese starke Standardisierung sollte eine größere Objektivität und leichtere statistische Auswertbarkeit gewährleisten. Wo dies nicht möglich war, wurden offene Fragen gestellt.

3.4.2 Thematische Schwerpunkte des Fragebogens

Im Folgenden soll ein Überblick über die im Interview erhobenen Variablen gegeben werden. Eine vollständige Übersicht findet sich im Anhang (vgl. Anhang F bis J).

Wahrnehmung

- Lichtverhältnisse (Dämmerung, Dunkelheit)
- Witterung (Regen, Schneefall, Nebel)
- Sichtverdeckungen (Kurven, Bepflanzung, andere Fahrzeuge)
- Fehlsichtigkeit des Fahrers (Kurzsichtigkeit, Weitsichtigkeit, Nachtblindheit)

- Blendung (Sonnenlicht, Scheinwerferlicht)
- Sichtbeeinträchtigung durch Fahrzeug (beschlagene, verschmutzte, defekte Scheiben)

Aufmerksamkeit

- Müdigkeit (Tageszeit, Fahrdauer, Schlafentzug, Koffeinkonsum, Anzahl und Dauer der Pausen)
- Innere Ablenkung (Konzentration auf Fahraufgabe, gedankliche Beschäftigung mit anderen Dingen)
- visuelle Ablenkung durch Aufmerksamkeit auf Objekte *außerhalb* des Fahrzeugs (Blicke in Außen- und Rückspiegel, andere Verkehrsteilnehmer, wichtige Informationen wie Wegweiser, Hinweisschilder, Hausnummern, ungewöhnliche Ereignisse u. a.)
- visuelle Ablenkung durch Aufmerksamkeit auf Objekte *innerhalb* des Fahrzeugs (Blick auf Anzeigen, Personen und Gegenstände im Fahrzeug, Benutzung von Bedieneinrichtungen)
- Auditive Ablenkung (lautes Musikhören, Unterhaltung mit anderen Personen im Auto, Telefonieren)

Kognition

- Navigation (Bekanntheit der Strecke, Orientierungsbedarf)
- Risikowahrnehmung und Risikoakzeptanz (Sicherheitsgefühl im Fahrzeug, Beurteilung von Sicherheitsausstattung des eigenen Fahrzeugs, Straßenzustand, Angemessenheit der eigenen Geschwindigkeit)
- Interpretation der wahrgenommenen Informationen in der Pre-Crash-Phase
- Entscheidungen in kritischer Situation
- Einschätzung von Abständen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und Verzögerungen anderer Fahrzeuge vor dem Unfall

Motorik

- Lenkreaktion (Zeitpunkt, Stärke, Angemessenheit)
- Bremsreaktion (Zeitpunkt, Stärke, Angemessenheit)
- Unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrspur vor dem Unfall
- Position der Hände zum Unfallzeitpunkt (Position am Lenkrad, in den Händen gehaltene Gegenstände)

- Art des getragenen Schuhwerks (Art der Schuhe, Material und Profil der Sohle)
- Motorische Beeinträchtigungen
- Fehler bei der Reaktionsausführung (Schreckreaktionen mit Verreißen des Lenkrads, Bediendungsfehler, Abrutschen vom Bremspedal)

Sonstiges

- Fahrkönnen (Dauer des Führerscheinbesitzes, jährliche Fahrleistung, absolvierte Fahrsicherheitstrainings, Selbsteinschätzung des eigenen Fahrkönnens)
- Emotion zum Unfallzeitpunkt
- Alkohol, Drogen, Medikamente
- Merkmale der Fahrumwelt (Kurven, Steigungen, Verkehrsknotenpunkte, Beschilderung u. v. m.)
- U. v. m.

Eine komplette Auflistung der Fragebogen-Items findet sich im Anhang.

Viele Fragen sind hierarchisch angelegt. Wurde beispielsweise die Frage:

> *„Hat Ihr Fahrzeug einen Kassettenrecorder?“*

mit „Nein“ beantwortet, dann wurden dem Fahrer alle weiteren Fragen, die sich auf den Kassettenrekorder beziehen nicht mehr gestellt und die Antworten auf diese Items in der Datenbank automatisch als „entfällt“ kodiert. Beantwortete er sie dagegen mit „Ja“, dann folgten die Fragen:

> *„Haben Sie kurz vor dem Unfall eine Kassette eingeschoben oder entfernt?“* (Ja / Nein)
>
> *„Haben Sie kurz vor dem Unfall den Kassettenrecorder bedient (z. B. Vor- oder Rücklauf, Lautstärke)?“* (Ja / Nein)
>
> *„Haben Sie kurz vor dem Unfall eine Kassette gehört?“* (Ja / Nein)

Wurde die hier wiederum die letzte Frage nach dem Hören einer Kassette bejaht, dann folgte darauf die Frage:

> *„Wie laut [haben Sie Kassette gehört]?“* (leise, mittel, laut)

Der Zweck der Hierarchisierung liegt auf der Hand: Bestimmte Fragen zu stellen, macht keinen

Sinn, wenn gewisse Bedingungen nicht erfüllt sind. So muss man einen Fahrer nicht fragen, ob er sich mit seinem Beifahrer unterhalten hat, wenn er soeben gesagt hat, dass er allein im Auto saß. Durch die Hierarchisierung mit definierten Abbruchkriterien wurde erreicht, dass die Befragung und die Kodierung der Antworten einerseits standardisiert war, andererseits jedoch das Interview durch die hohe Flexibilität so kurz wie möglich gehalten werden konnte. Durch das automatische Kodieren der irrelevanten Fragen mit „entfällt“ in der Datenbank wurde zudem Arbeit bei der Dateneingabe gespart.

3.4.3 Nicht-psychologische Daten

Die in den Fahrer-Interviews gewonnen Daten wurden zusätzlich durch weitere Informationen von Polizei und technischen Mitarbeitern ergänzt. Für jeden von der Polizei gemeldeten Verkehrsunfall wurden durch die meldende Polizeiinspektion Informationen aus der Verkehrsunfallanzeige (Seiten eins bis drei) zur Verfügung gestellt. Diese Seiten enthalten – abgesehen von den notwendigen persönlichen Daten zur Kontaktaufnahme (Name, Adresse, Telefonnummer) – Angaben über die Unfallstelle (genauer Ort mit Kilometrierung, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Betrieb von Straßenbeleuchtung und Ampeln, Lichtverhältnisse u. a.).

Zudem enthält die Verkehrsunfallanzeige einen kompletten Unfallbericht, in dem der Unfallhergang objektiv beschrieben ist. Diese sachliche Beschreibung bildete das Vorwissen, das ein Interviewer hatte, wenn er die Unfallbeteiligten kontaktierte, um sich von diesen den Unfall aus ihrer Sicht schildern zu lassen. Dies erwies sich als große Arbeitserleichterung, da viele Fahrer dazu neigen, über ihren Unfall unstrukturiert und subjektiv verfärbt zu sprechen. Wenn Fahrer nicht bereit waren, ein Interview zu geben, so konnten dennoch auf der Basis des Unfallberichts der Verkehrsunfallanzeige (zusätzlich zu Zeugenaussagen und Ergebnissen der technischen Rekonstruktion) zahlreiche Aussagen gemacht werden, die für eine Unfallanalyse verwertbar waren.

Eine sehr wichtige Information ist beispielsweise der von der Polizei durchgeführte Alkoholtest, dessen Ergebnisse ebenfalls in der Verkehrsunfallanzeige enthalten sind. Fahrer, die einen Unfall aufgrund von Alkoholisierung verursacht hatten, waren häufig nicht bereit, an der Befragung teilzunehmen. Da jedoch durch die Verkehrsunfallanzeige die Tatsache der Alkoholisierung bekannt war, war damit – insbesondere bei hohen Alkoholisierungen – ohnehin bereits eine Hauptursache des Unfalls bekannt. Durch den genauen Messwert konnte ebenfalls sehr gut das Ausmaß der Beeinträchtigung beurteilt werden, ohne sich dabei auf subjektive Angaben des Fahrers verlassen zu müssen.

Eine weitere Quelle, mit denen die Daten aus den psychologischen Interviews ergänzt wurden, waren Daten der technischen Mitarbeiter des Projekts. Am wichtigsten hierfür waren die gefahrenen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge, die sich anhand der Spuren an der Unfallstelle und den Fahrzeugdeformationen rekonstruieren lassen. So gibt z. B. die *Kollisionsgeschwindigkeit* an, wel-

che Geschwindigkeit ein Fahrzeug in dem Moment besaß, als es mit einem Hindernis oder einem anderen Fahrzeug zusammenstieß.

Die *Ausgangsgeschwindigkeit* dagegen gibt an, wie schnell ein Fahrzeug war, bevor der Fahrer reagierte (d. h. auf die Bremse trat). Zwar ist die Schätzung der Ausgangsgeschwindigkeit in der Regel nicht genau, sondern nur innerhalb eines bestimmten Konfidenzintervalls möglich; sie ist aber dennoch ein wichtiger Anhaltspunkt, um die Interview-Aussagen der Fahrer zu beurteilen, die meistens eine geringere Geschwindigkeit angaben, als sie in Wirklichkeit gefahren waren. Aus dem Vergleich von Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit lassen sich zudem über das Bremsverhalten der Fahrer Schlussfolgerungen ziehen, die zusammen mit den Aussagen im Interview ein aussagekräftiges Gesamtbild vom Unfallhergang ergeben.

Auch andere Daten, wie z. B. die exakten Maße der Fahrbahn (Breite, Kurvenradius), der Reibwert der Straße in Abhängigkeit von der Witterung, Lenk-, Brems-, Beschleunigungs- und Schleuderverhalten bestimmter Fahrzeugmodelle sind für eine Beurteilung der Unfallursache hilfreich. Insgesamt lieferten die Unfallrekonstruktionen wertvolle Informationen, die die subjektiven Angaben der Fahrer ergänzten, eine Bewertung ihrer Aussagen erleichterten und ein detailliertes und valides Gesamtbild eines Unfalls ermöglichten.

3.4.4 Psychologische Begutachtung der Unfallstelle

Zusätzlich zu den Befragungen der Fahrer, die den Schwerpunkt der Studie bilden, wurden auch die Unfallörtlichkeiten dokumentiert. Hierzu fuhr ein studentischer Mitarbeiter (Psychologiestudent) des Projekts mit einem eigens für diesen Zweck vorgesehen Einsatzfahrzeug zum Unfallort und fertigte mit einer Digitalkamera Fotos und kurze Filme von der Unfallstelle an. Grundsätzlich wurde jede Unfallstelle innerhalb von Bayern dokumentiert, es sei denn, sie befand sich auf einer Autobahn.

Die Bilder dienten dazu, sich einen Eindruck von der Lokalität und damit von den beim Unfall gegebenen Umweltbedingungen bilden zu können. Von besonderem Interesse waren dabei potenzielle Gefahrenquellen wie:

- unübersichtliche Fahrbahnführungen (z. B. Kurven und Kuppen)
- unübersichtliche Knotenpunkte (Kreuzungen, Einmündungen)
- Sichtverdeckungen (z. B. durch Gebäude, parkende Autos oder Bepflanzungen am Fahrbahnrand)
- Beschilderungen (z. B. Warnschilder, Tempobeschränkungen, Ortshinweisschilder)
- Straßengestaltungen mit problematischem Aufforderungscharakter (z. B. gefährliche Einmündungen mit weiten Kurvenradien, die zu einem zügigen Abbiegen animieren; ungleich breite Straßen bei Rechts-vor-Links-Regelung)

- Straßenzustand (z. B. fehlende oder schlecht erkennbare Fahrbahnmarkierungen, Laub oder Schnee auf der Fahrbahn)

3.5 Verarbeitung und Auswertung der Daten

3.5.1 Auswertung der Interviews

Da die Datenerhebung durch die Verwendung des Fragebogens mit weit über 300 Items stark standardisiert war, konnten die zu einer Frage erhaltene Antwort direkt in eine Datenbank bei der entsprechenden Variable eingetragen werden. Bei einer ausschließlichen Erfassung von Einzelvariablen würde man jedoch den Gesamtzusammenhang eines Verkehrsunfalls aus den Augen verlieren.

Aus diesem Grund wurde zu jedem Unfall *zusätzlich* ein Unfallbericht erstellt (Länge: ca. ein bis zwei DIN A4-Seiten). Grundlage dafür war der Bericht der Polizei aus der Verkehrsunfallanzeige, der eine genaue Beschreibung des Unfallhergangs enthält. Diese Informationen wurden ergänzt durch die Interview-Aussagen der Fahrer und alle durch die im Interview gewonnen psychologisch relevanten Fakten. Der Bericht enthielt damit alle wichtigen Informationen, die notwendig waren, um sich ein umfassendes Gesamtbild dieses Verkehrsunfalls zu bilden. Am Ende des Berichts wurden zusätzlich noch einmal stichpunktartig nach Wichtigkeit geordnet die einzelnen Unfallursachen und Risikofaktoren aufgelistet, die zur Entstehung des Verkehrsunfalls betrugen.

3.5.2 Nicht im Fahrer-Interview erhobene Variablen

Zusätzlich zu den Fragen, die dem Fahrer im Interview gestellt wurden, wurden noch weitere Variablen erhoben. Dies sind v. a. Variablen, die die (subjektive) Aussage des Fahrers mit einer (objektiven) Zusatzvariable ergänzen. So wurde z. B. der Fahrer gefragt, wie schnell er seine zum Unfallzeitpunkt gefahrene Geschwindigkeit einschätzte. Als Ergänzung dazu wurde (sofern vorhanden) die von einem Gutachter oder einem technischen Mitarbeiter des Projekts ermittelte Ausgangsgeschwindigkeit mit einer weiteren Variablen erfasst. Ähnlich war dies bei anderen den Fahrer gestellten Fragen, wie z. B. der von diesem beurteilten Angemessenheit seiner Geschwindigkeit, seiner Lenk- und Bremsreaktion, seiner Alkoholisierung u. a.

Des Weiteren wurden durch einen Psychologen Bewertungen vergeben, die als eigene Variablen in der Datenbank festgehalten wurden, um spätere Auswertungen zu erleichtern. Dies war z. B. der Fall bei der Klassifikation des Fahrerverhaltens bezüglich Fehlern und Verstößen sowie bei der Beurteilung der Unfälle hinsichtlich eines potenziellen Wirkungsfeldes für Fahrerassistenzsysteme.

3.5.3 Bestimmung des Unfalltyps

Eine besonders wichtige, ebenfalls in der Datenbank erfasste Variable ist die Art eines Verkehrsun-

falls. Zur Bestimmung wurde der *Unfalltypen-Katalog* des *Instituts für Straßenverkehr Köln (ISK)* des *Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV)* verwendet, mit dem Verkehrsunfälle nach der Art der Konfliktsituation klassifiziert werden (GDV, 2003). Zu Beginn der Untersuchung gab es ein kostenloses Software-Tool, das die Unfall-Klassifizierung erleichterte und daher für diese Untersuchung verwendet wurde. Es wurde auf der Homepage des GDV zum Download angeboten; (mittlerweile es jedoch nicht mehr erhältlich und eine private Firma vermarktet einer stark erweiterte Version (EUSka) dieses Programms).

Der *Unfalltypen-Katalog* klassifiziert Unfälle nach sieben Hauptkategorien:

Tabelle 13: Hauptkategorien des Unfalltypen-Katalogs

Unfalltyp	Hauptkategorie	Beschreibung
Unfalltyp 1	Fahrunfall	Der Unfall wurde ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug (wegen nichtangepasster Geschwindigkeit oder falscher Einschätzung des Straßenverlaufs, des Straßenzustandes o. Ä.), ohne dass andere Verkehrsteilnehmer dazu beigetragen haben. Infolge unkontrollierter Fahrzeugbewegungen kann es dann aber zum Zusammenstoß mit anderen Verkehrsteilnehmern gekommen sein.
Unfalltyp 2	Abbiege-Unfall	Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer (auch Fußgänger!) an Kreuzungen, Einmündungen, Grundstücks- oder Parkplatzzufahrten.
Unfalltyp 3	Einbiegen/Kreuzen-Unfall	Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem vorfahrtberechtigten Fahrzeug an Kreuzungen, Einmündungen oder Ausfahrten von Grundstücken und Parkplätzen.
Unfalltyp 4	Überschreiten-Unfall	Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger auf der Fahrbahn, sofern dieser nicht in Längsrichtung ging und sofern das Fahrzeug nicht abgebogen ist. Dies gilt auch, wenn der Fußgänger nicht angefahren wurde.
Unfalltyp 5	Unfall durch ruhenden Verkehr (RV)	Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem Fahrzeug, das parkt/hält bzw. Fahrmanöver im Zusammenhang mit dem Parken/Halten durchführte.
Unfalltyp 6	Unfall im Längsverkehr	Der Unfall wurde ausgelöst durch einen Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten, sofern dieser Konflikt nicht einem anderen Unfalltyp entspricht.

Unfalltyp 7	Sonstiger Unfall	Unfall, der sich nicht den Typen 1-6 zuordnen lässt. Beispiele: Wenden, Rückwärtsfahren, Parker untereinander, Hindernis oder Tier auf der Fahrbahn, plötzlicher Fahrzeugschaden (Bremsversagen, Reifenschäden o. Ä.).

Innerhalb jeder Hauptkategorie gibt es weitere bis zu zehn Unterkategorien, die wiederum jeweils in weitere bis zu zehn Unterkategorien unterteilt sind.

Beispiel:

Tabelle 14: Unterteilung der Unfälle des Unfalltyps 3 (= Unfälle durch Einbiegen oder Kreuzen)

Unfalltyp	**Beschreibung**
Unfalltyp 30	Konflikte zwischen einem Wartepflichtigen und einem von links kommenden Bevorrechtigten, der sich nicht in einem Überholvorgang befindet
Unfalltyp 31	Konflikt zwischen einem Wartepflichtigen und einem von links kommenden Bevorrechtigten, der überholt
Unfalltyp 32	Konflikt zwischen einem Wartepflichtigen und einem von rechts kommenden Bevorrechtigten, der sich nicht in einem Überholvorgang befindet
Unfalltyp 33	Konflikt zwischen einem Wartepflichtigen und einem von rechts kommenden Bevorrechtigten, der überholt
Unfalltyp 34	Konflikt zwischen einem Wartepflichtigen und einem vom Radweg kommenden bevorrechtigten Radfahrer
Unfalltyp 35	Konflikt zwischen einem Wartepflichtigen und einem Bevorrechtigten bei abknickender Vorfahrt
Unfalltyp 36	Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Schienenfahrzeug auf einem Bahnübergang oder mit geschlossener Bahnschranke (sofern es sich nicht um einen Abbiege-Unfall handelt)
Unfalltyp 37	Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Radfahrer, der die Strasse, von parallelem Radweg kommend, kreuzt oder in sie einfährt
Unfalltyp 39	Sonstige Einbiegen/Kreuzen-Unfälle

Jeder dieser Unfalltypen wird noch einmal weiter differenziert. So wird beispielsweise beim Unfalltyp 30 („Konflikte zwischen einem Wartepflichtigen und einem von links kommenden Bevorrechtigten, der sich nicht in einem Überholvorgang befindet“) noch einmal nach den beabsichtigten Fahrtrichtungen der beteiligten Fahrzeuge in folgende Unterkategorien unterteilt:

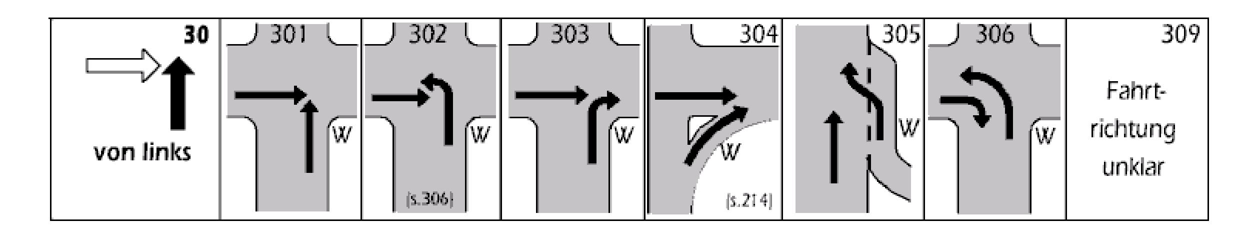


Abbildung 8: Bestimmung der genauen Unterkategorie des Unfalltyps 30 (= „Konflikte zwischen einem Wartepflichtigen und einem von links kommenden Bevorrechtigten, der sich nicht in einem Überholvorgang befindet“). Der Pfeil neben dem „W“ bezeichnet die beabsichtigte Fahrtrichtung des Wartepflichtigen, d. h. des Unfallverursachers.

Das Ergebnis des dreistufigen Klassifizierungsverfahrens ist ein dreistelliger Code, der für den genauen Typ eines Verkehrsunfalls steht.

Für die Bestimmung des Unfalltyps entscheidend ist allein die Konfliktsituation, die zu dem Unfall führte. Dabei spielt es keine Rolle, wie Verkehrsteilnehmer miteinander kollidiert sind (z. B. Fahrzeugfront gegen Fahrzeugfront oder Fahrzeugfront gegen Fahrzeugseite) oder ob sie überhaupt kollidiert sind (z. B. wenn ein Fahrer noch ausweichen konnte, aber dabei von der Fahrbahn abkam).

Besonders wichtig ist es zu betonen, dass Fehler und Fehlverhalten der Verkehrsteilnehmer, die bei fast allen Unfällen die Unfallursache sind (siehe Kapitel 4.4 sowie 4.5), für die Bestimmung des Unfalltyps grundsätzlich *keine* Rolle spielen. Wenn also beispielsweise ein Fahrer

1. allein ohne den Einfluss von anderen Verkehrsteilnehmern von der Fahrbahn abkam,
2. dies in einer Kurve geschah, und
3. die Kurve eine Rechtskurve war,

dann wird der Unfall als Typ 102 klassifiziert. Damit ist jedoch nichts darüber ausgesagt, warum der Fahrer von der Fahrbahn abkam, also z. B. aufgrund nichtangepasster Geschwindigkeit oder falscher Einschätzung des Straßenverlaufs, aufgrund von Alkoholisierung, Ablenkung durch parallel durch geführte Tätigkeiten oder Ähnlichem.

Der Grund der exakten Bestimmung des Unfalltyps ist, dass dadurch wesentlich differenziertere Aussagen zu Unfallursachen und Möglichkeiten zur Unfallprävention möglich werden. So kann z. B. das Wirkungsfeld von Fahrerassistenzsystemen genauer beurteilt werden, wenn dabei nach bestimmten Unfallarten differenziert werden kann. Das System *Lane Departure Warning* ist beispielsweise vor allem bei Unfällen ohne Einwirkung von anderen Verkehrsteilnehmern (Unfalltyp 1) relevant, dagegen kaum bei Unfällen durch Abbiegen, Einbiegen oder Kreuzen (Unfalltypen 2 und 3). Beim System ACC ist vor allem ein hohes Potenzial bei „Unfällen im Längsverkehr“ (Typ 6) zu erwarten.

3.5.4 Fehleranalyse

Die Bestimmung des dem Unfalls zugrunde liegenden Fehlertyps erfolgte nach dem Klassifikationsalgorithmus von Rasmussen (1982), der in Kapitel 2.7.2.2 ausführlich erläutert wurde. Da es möglich ist, dass bei Unfällen mit mehreren Beteiligten nicht nur der Verursacher einen Fehler macht, sondern ebenso ein fehlerhaftes Verhalten eines Unfallbeteiligten vorliegt, wurde die Fehleranalyse grundsätzlich für jeden beteiligten Fahrer durchgeführt. Häufig kam dabei heraus, dass der Unfallbeteiligte keinen Fehler gemacht hat, sondern die Unfallursache allein auf den Verursacher zurückzuführen ist. In diesen Fällen wurde beim Beteiligten ein „Struktureller Fehler“ gezählt, das bedeutet, dass er durch sein Verhalten den Unfall prinzipiell nicht verhindern konnte, egal wie er reagiert hätte.

Grundsätzlich wurden bei der Klassifikation die klar definierten Vorgaben des Rasmussen-Algorithmus’ genau eingehalten. Nach diesem ist es u. a. so, dass mit der Identifizierung eines Fehlers gleichzeitig auch ein Abbruchkriterium gegeben ist, so dass nicht weiter nach anderen Fehlern gesucht wird. In einigen Ausnahmefällen erwies sich diese Vorgehensweise jedoch als zu starr, da es offensichtlich war, dass trotz eines zuvor aufgetretenen Fehlers im weiteren Verlauf noch ein weiterer Fehler auftrat, z. B. ein Abrutschen vom Bremspedal, nachdem zuvor eine Gefahr zu spät erkannt wurde. In diesen wenigen Fällen wurde dennoch ein weiterer Fehler gewertet.

Beispiel:

> Der Fahrer eines Alleinunfalls befuhr nachts um 2:00 Uhr auf seinem Weg nach Hause einen Autobahnzubringer. Es war dunkel und die Straße war nass. Er war nach einem langen stressreichen Arbeitstag (17 Stunden) nach eigener Aussage „sehr müde“. Während der Fahrt dachte er an eine Geschäftsreise, die er am nächsten Tag in der Früh vor sich hatte und war dadurch „wenig auf das Fahren konzentriert“.
>
> Gleichzeitig hielt er nach Schildern für die Autobahnauffahrt Ausschau, da er sich an dieser Stelle aufgrund einer etwas komplizierten Straßenführung und nach seiner Aussage schlechten Beschilderung, bereits mehrmals verfahren hatte. Er befuhr die Strecke mit 80 km/h (eigene Aussage und Ergebnis der Unfallrekonstruktion), da er es eilig hatte, nach Hause zu kommen, obwohl er kurz zuvor ein Schild gesehen hatte, das die Geschwindigkeit auf 60 km/h beschränkte.
>
> Er erkannte eine Linkskurve zu spät, kam nach rechts von der Fahrbahn ab auf das Gras, fuhr eine Böschung hoch und kollidierte frontal mit einer Grundstücksmauer. Als er merkte, dass er von der Fahrbahn abkam, versuchte er eine Vollbremsung, rutschte dabei jedoch vom Bremspedal ab (glatte und nasse Ledersohle).

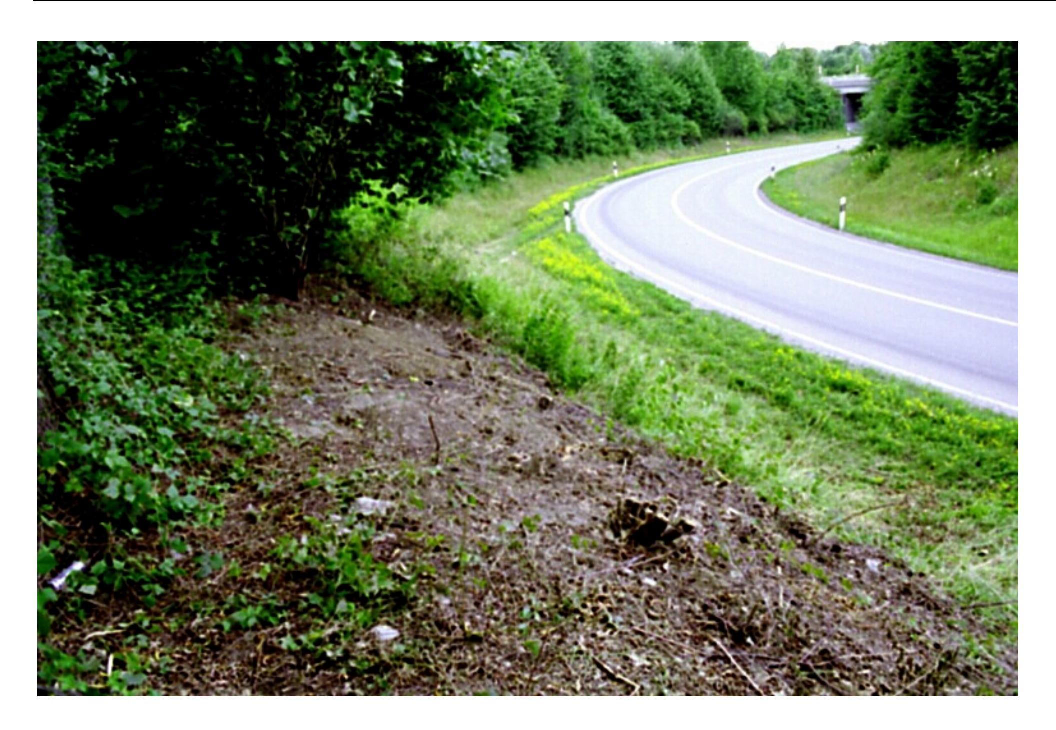


Abbildung 9: Die Unfallstelle des oben beschriebenen Unfalls, fotografiert von der Position der Endlage des Fahrzeugs aus, entgegen der Fahrtrichtung. Am Scheitelpunkt der Kurve erkennt man im Gras die Spuren der Räder nach dem Abkommen von der Fahrbahn.

Bei diesem Unfall traten (nach Rasmussen) zwei Fehler auf:

1. *Informationsfehler*: Der Fahrer erkannte die Kurve zu spät aufgrund von Dunkelheit, zu höher Geschwindigkeit, starker Müdigkeit, kognitiver Ablenkung (Geschäftsreise) und visueller Ablenkung (Ausschau nach Schildern)
2. *Bedienungsfehler*: Beim Bremsen rutschte er, begünstigt durch die glatte und nasse Ledersohle seiner Schuhe, vom Bremspedal ab

Zusätzlich traten (nach Reason) zwei Verstöße auf:

1. Fahren mit 80 km/h, obwohl kurz zuvor die Geschwindigkeitsbeschränkung auf 60 km/h gesehen
2. Fahren trotz wahrgenommener sehr starker Müdigkeit

3.5.5 Speicherung der Daten

Alle erhobenen Daten wurden in eine eigens programmierte Datenbank (Access 2000) eingegeben. Antworten auf geschlossene Fragen im Fragebogen mit vorgegebenen Antwortalternativen wurden entsprechend kodiert (Variablenausprägungen siehe Anhang!). Antworten auf offene Fragen wurden als Freitext eingegeben – ebenso wie der gesamte Unfallbericht.

Das Konzept der Datenbank ist personenbezogen, nicht unfallbezogen. Das bedeutet: Für jeden Fahrer wurde ein eigener Datensatz angelegt. Da sich zahlreiche Unfälle mit mehreren beteiligten Fahrzeugen ereigneten, gab es häufig mehrere Datensätze zu ein und demselben Unfall.

Wie bereits oben (Kapitel 3.1) erwähnt, wurden alle Daten anonymisiert gespeichert, d. h. aus den in der Datenbank enthaltenen Informationen sind keinerlei Rückschlüsse auf Namen, Adressen oder Telefonnummern der Verunfallten möglich.

3.5.6 Verursacheranalysen zur Berechnung von Unfallrisiken

3.5.6.1 Problemdefinition

Bisherige Studien, die sich mit der psychologischen Analyse von Verkehrsunfällen befassten, beschränkten sich alle darauf, auf der Grundlage von Fahrer-Befragungen Unfälle anhand eines aus wenigen Kategorien bestehenden Schemas zu klassifizieren. Diese Zuordnung erfolgte entweder nur nach der (mutmaßlichen) Hauptursache oder es wurden ein bis zwei Ursachen und ebenso viele Risikofaktoren erfasst (vgl. Kapitel 2.7.1). Wo jedoch die einzige Analyse eines Unfalls darin besteht, ihn in ein mehr oder weniger grobes Kategoriensystem einzuordnen, geht viel an Information verloren und der Aussagewert ist gering. Differenzierte Aussagen über das Risiko bestimmter Fehler oder Verhaltensweisen sind so überhaupt nicht möglich.

Hinzu kommt, dass bei der Unfallanalyse im Nachhinein die Gefahr besteht, dass der Beurteilende beim Rating die im Interview erhaltenen Informationen so interpretiert und „zurechtbiegt“, dass er einen Unfall einer bestimmten Kategorie zuordnen kann, zu der er seiner Meinung nach am ehesten passt. Beispielsweise besteht die Versuchung, sämtlichen identifizierten Fehlern oder gefährlichen Verhaltensweisen des unfallverursachenden Fahrers auch einen kausalen Effekt zuzuschreiben. Dies ist jedoch eine Interpretation des Unfallforschers – rein logisch gesehen ist es überhaupt

nicht zwingend, dass eine potenziell gefährliche (da z. B. ablenkende) Verhaltensweise wie z. B. die Unterhaltung mit einem Beifahrer zu einem Unfall geführt hat. Die Folge dieser Vorgehensweise sind dann Unfallstatistiken, aus denen z. B. zu entnehmen ist, dass X Prozent aller Unfälle dadurch mitverursacht werden, dass der Fahrer durch ein Gespräch mit dem Beifahrer abgelenkt ist.

Doch solch eine Aussage ist falsch. Der entscheidende Punkt ist, dass eine kausale Beziehung zwischen einem Gespräch mit dem Beifahrer und der Unfallverursachung nicht nachweisbar ist. Streng genommen ist noch nicht einmal eine *teilweise* kausale Beziehung (*Mit*verursachung) belegbar. Korrekt müsste die Aussage lauten: „Bei X Prozent aller Unfälle hat sich der unfallverursachende Fahrer zum Unfallzeitpunkt mit dem Beifahrer unterhalten."

Doch was ist damit ausgesagt? Im Grunde überhaupt nichts. Angenommen, 10 % aller Unfallverursacher hätten sich zum Unfallzeitpunkt unterhalten, dann bedeutet das umgekehrt, dass 90 % aller Unfallverursacher sich *nicht* unterhalten hätten. Daraus müsste man ja eigentlich die Schlussfolgerung ziehen, dass es gefährlicher wäre, sich während der Fahrt *nicht* zu unterhalten, da der Anteil der „schweigsamen" Fahrer an der Unfallverursachung ja neunmal so hoch ist. Außerdem besteht die Frage, wie viele der unschuldig in einen Unfall verwickelten Fahrer (Beteiligte) sich ebenfalls zum Unfallzeitpunkt unterhalten haben. Angenommen, dies wären ebenfalls 10 % der Fahrer, dann gäbe es keinen Anhaltspunkt, davon auszugehen, dass es einen statistischen Zusammenhang zwischen Unterhaltung und Unfallverursachung gäbe. Diese beiden Beispiele machen deutlich: Eine Aussage wie „10 % aller Unfallverursacher haben sich zum Unfallzeitpunkt unterhalten" sagt genauso viel aus wie die Aussage „10 % aller Unfallverursacher haben zum Unfallzeitpunkt weiße Socken getragen" – nämlich nichts.

Für eine seriöse Unfallforschung ist es daher erforderlich, geeignete Methoden zur Quantifizierung von Risiken zu verwenden. Um das Risiko einer bestimmten Verhaltensweise für die Unfallentstehung beziffern zu können, ist es notwendig, in irgendeiner Weise Situationen, in denen die Verhaltensweise auftrat und ein Unfall resultierte, mit Situationen in Relation zu setzten, in denen die Verhaltensweise ebenfalls auftrat, aber zu keinem Unfall führte.

Dieses methodische Problem ist in der Unfallforschung seit langem bekannt. Dennoch gab es bei allen bisherigen Untersuchungen, die Unfälle vertieft (In-depth-studies) und nach psychologischen Kriterien untersuchten, keine einzige, die diesem Problem bei der Verwendung statistischer Verfahren Rechnung getragen hätte. Lediglich einige Studien, die sich mit speziellen Teilaspekten von Verkehrsunfällen befassten (z. B. Alkohol, Drogen) verwendeten methodisch korrekte Verfahren (z. B. Terhune, 1983; Robertson & Drummer, 1994; Vollrath et al., 2002).

3.5.6.2 Ansätze einer methodisch korrekten Berechnung von Unfallrisiken

Eine Lösungsmöglichkeit für das Problem der fehlenden Bezugsgröße ist, den Anteil der Unfälle,

bei denen ein bestimmtes Kriterium erfüllt ist, mit dem Anteil der *unfallfreien Fahrten* zu vergleichen, bei denen dieses Kriterium ebenfalls erfüllt ist. Ein Beispiel zur Veranschaulichung: Wenn bekannt ist, dass bei 10 % aller Unfälle der Fahrer alkoholisiert war, ist damit allein noch nichts gesagt, da eine Vergleichsgruppe fehlt. Eine solche Vergleichsgruppe kann die Anzahl aller unfallfreien Fahrten sein. Wenn bekannt wäre, dass nur 5 % aller Fahrten unter Alkoholeinfluss stattfinden, wäre dies ein Hinweis auf eine erhöhte Unfallgefährdung durch Alkohol am Steuer. Umgekehrt: Wäre der Anteil der alkoholisierten Fahrer bei unfallfreien Fahrten höher als der bei Fahrten, die zu einem Unfall führen (z. B. 20 %), müsste daraus geschlossen werden, dass Alkohol das Unfallrisiko senkt; bei einem gleich hohen Anteil (z. B. jeweils 10 %) hätte Alkohol keine Auswirkung auf das Unfallrisiko.

Daten über den Anteil von alkoholisierten Fahrern bei unfallfreien Fahrten können z. B. durch Verkehrskontrollen der Polizei gewonnen werden. Hierbei ergibt sich aber das Problem, dass die Anzahl der Fahrten eigentlich keine geeignete Bezugsgröße ist, denn Autofahrten unter Alkoholeinfluss sind meist viel kürzer als Fahrten in nüchternem Zustand. Bei Fahrten über weite Strecken (z. B. Urlaubsfahrten, Fernverkehr) sind Alkoholfahrten unterrepräsentiert; viele alkoholisierte Fahrer fahren – da sie wissen, dass sie getrunken haben – eher kürzere Strecken (z. B. von der Wirtschaft oder Feier nach Hause). Bei einer langen Fahrt ist jedoch die Gefahrenexposition viel größer als bei einer kurzen Fahrt. So ist z. B. bei einer Fahrtstrecke von 100 km im Vergleich zu einer Fahrtstrecke von 10 km die Wahrscheinlichkeit, einen Unfall zu haben, zehnmal so groß. Es ist daher sehr schwierig, eine Basisrate für Alkoholfahrten zu ermitteln, die nicht durch Störvariablen verzerrt ist.

Die angemessenere Bezugsgröße wäre daher nicht die Anzahl der Fahrten, sondern die Anzahl der gefahrenen Kilometer (*Kilometerleistung*) unter Alkoholeinfluss. Doch wie sollte diese ermittelt werden? Dieses Problem ist in der Praxis nicht zu lösen. Noch schwieriger wird es, wenn es sich nicht um Variablen handelt, die während einer Fahrt permanent wirksam sind (wie z. B. Alkoholisierung oder Merkmale der Person wie Alter oder Fahrerfahrung), sondern z. B. um Verhaltensweisen, die stets nur während einer kurzen Zeitspanne auftreten (wie z. B. Unterhaltung, Sonnenblendung, Radiobedienung). Denn hier müsste man theoretisch die Häufigkeit einer bestimmten Verhaltensweise – z. B. Radiobedienung – in Relation zur Kilometerleistung setzen, da auf einer langen Strecke diese Verhaltensweise statistisch häufiger vorkommt als auf einer kurzen Strecke. Doch dies ist selbstverständlich praktisch nicht durchführbar.

3.5.6.3 Unfallbeteiligte Fahrer als Kontrollgruppe zu den Unfallverursachern

Ein Ausweg sind daher sogenannte Verursacheranalysen. Die Bezugsgröße zur Ermittlung eines Risikos ist dabei nicht die Anzahl der unfallfreien Fahrten bzw. die unfallfreie Kilometerleistung unter der Wirksamkeit einer bestimmten Variable; stattdessen werden die Variablenausprägungen

des Unfallverursachers mit denen des unschuldig in einen Unfall verwickelten Fahrers (Unfallbeteiligter) verglichen und in Relation zueinander gesetzt. Um die Frage zu beantworten, ob eine bestimmte Variable das Unfallrisiko erhöht, wird die Gruppe der unfallbeteiligten Fahrer damit quasi als „Kontrollgruppe“ behandelt.

Die Idee, die einer Verursacheranalyse zugrunde liegt, ist, dass die unschuldig an einem Unfall beteiligten Fahrer die gleiche Verteilung wie ihre Exposition aufweisen. Dies gilt genau dann, wenn der Verursacher eines Unfalls seinen Unfallgegner nicht nach bestimmten Kriterien auswählt, sondern wenn das Zusammentreffen zufällig, d. h. statistisch unabhängig ist. In diesem Fall handelt es sich bei Verkehrsunfällen um „Experimente mit gleichverteilten Wahrscheinlichkeiten“, d. h. dass die Verteilung der unschuldig Beteiligten der Verteilung der gesuchten Bezugsgröße gleicht (Busch et al., 2003, S. 122 f.).

3.5.6.4 Berechnung eines Relativen Risikos

Um die Auswirkungen bestimmter Risikovariablen wie z. B. Fehler, Verhaltensweisen oder Eigenschaften auf die Entstehung von Unfällen zu quantifizieren, lässt sich jeweils ein Relatives Risiko berechnen. Das Relative Risiko ist v. a. im medizinischen Bereich ein beliebtes statistisches Maß, um beispielsweise bei epidemiologischen Studien Neuerkrankungsraten (Inzidenzraten) von Personen zu vergleichen, die einem bestimmten Risikofaktor entweder ausgesetzt waren oder nicht. Berechnet wird das Relative Risiko aus dem Quotienten zweier Inzidenzraten. Im Kontext der Unfallforschung entspricht die Inzidenzrate dem Anteil der Unfallverursacher.

$$\text{Relatives Risiko} = \frac{\text{Unfallverursachungsrate bei Exponierten}}{\text{Unfallverursachungsrate bei Nicht-Exponierten}}$$

Zur Berechnung eines Relativen Risikos wird zwischen zwei Gruppen von Fahrern unterschieden:

Verursacher:
Diejenige Person, die laut der Verkehrsunfallanzeige der Polizei die alleinige Schuld bzw. die Hauptschuld an einem Unfall trägt

Beteiligter:
Diejenige Person, die laut Verkehrsunfallanzeige der Polizei ohne eigenes Verschulden in einen Unfall verwickelt wurde bzw. nur eine Teilschuld an einem Unfall trägt

Zudem wird unterschieden, ob ein bestimmter Risikofaktor (z. B. Alkoholisierung, Sonnenblendung) zum Unfallzeitpunkt auftrat oder nicht. Dieser Risikofaktor stellt die unabhängige Variable dar, der Faktor „Unfallverursachung“ die abhängige Variable.

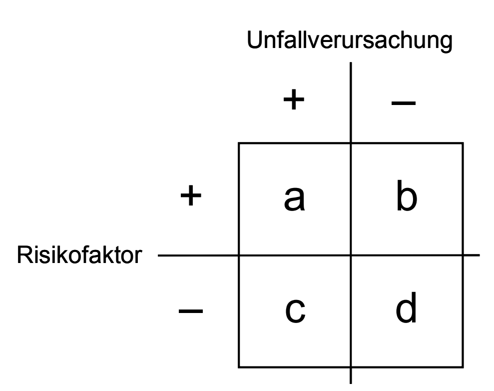


Abbildung 10: Vier-Felder-Tafel zur Veranschaulichung der Berechnung des Relativen Risikos. Ein „+“ bedeutet, dass eine Variablenausprägung positiv ist, d. h. dass es sich beim Fahrer um einen Unfallverursacher handelt bzw. dass ein Risikofaktor zum Unfallzeitpunkt auftrat, ein „-“ bedeutet, dass eine Variablenausprägung negativ ist.

Das Relative Risiko berechnet sich folgendermaßen (Sachs, 1999, S. 311):

$$\text{Relatives Risiko} = \frac{a}{a+b} : \frac{c}{c+d} = \frac{a}{a+b} \times \frac{c+d}{c} = \frac{ac+ad}{ac+bc}$$

Ein Berechnungsbeispiel: Die folgende Tabelle mit Daten der vorliegenden Studie zeigt eine Kreuztabelle mit der Variable Alkoholisierung:

Tabelle 15: Kreuztabelle: Fahrer x Alkoholisierung

	Fahrer		
Alkoholisierung	**Verursacher**	**Beteiligter**	**Gesamt**
alkoholisiert	24	3	27
nicht alkoholisiert	288	213	501
Gesamt	312	216	528

Das Relative Risiko (RR) für eine Unfallverursachung unter Alkoholeinfluss berechnet sich somit wie folgt:

$$RR(\mathit{Unfallverursachung} \mid \mathit{alkoholisiert}) = \frac{\frac{24}{27}}{\frac{288}{501}} = \frac{0.8889}{0.5749} = 1.55$$

Der Wertebereich des Relativen Risikos reicht von 0 bis unendlich. Ein Wert über 1 bedeutet eine Erhöhung des Risikos – ein Wert unter 1 eine Reduzierung des Risikos. Ein Relatives Risiko von

1.55 bedeutet, dass das Risiko für einen alkoholisierten Fahrer, einen Unfall zu verursachen, im Vergleich zu einem nüchternen Fahrer um den Faktor 1.55 erhöht ist. Bei einem RR von 1 würde es bedeuten, dass die Variable Alkohol das Unfallrisiko nicht beeinflusst.

Die Genauigkeit des Relativen Risikos ist abhängig von der Stichprobengröße. Je größer die Stichprobe, desto exakter kann es berechnet werden. Aus diesem Grund ist es notwendig, die Größe des Konfidenzintervalls zu berücksichtigen (zur Berechnung siehe Sachs, 1999, S. 315). Im Fall des Alkohol-Beispiels reicht das 95 %-Konfidenzintervall von 1.37 bis 1.80.

Das Konfidenzintervall gibt einen Bereich von plausiblen Werten eines den Daten zugrunde liegenden wahren, aber unbekannten Risikos wieder. Falls der Nulleffekt, d. h. ein relatives Risiko von 1, außerhalb des Konfidenzintervalls liegt, bedeutet dies, dass die entsprechende Variable einen Einfluss auf das Unfallrisiko hat. Liegt z. B. die untere Grenze über dem Wert von 1, dann hat die getestete Variable mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % einen risikoerhöhenden Einfluss. Liegt dagegen die obere Grenze unterhalb von 1, dann hat die Variable einen signifikant risikosenkenden Einfluss. Über die Größe des Effekts gibt das Relative Risiko selbst Auskunft: Je weiter er von 1 entfernt ist, desto größer der Effekt.

Die Berechnung des Relativen Risikos sowie aller anderen statistischen Tests erfolgte mit dem Programm *SPSS 10.0*.

3.5.6.5 Einschränkungen des Ansatzes

Der oben beschriebe Ansatz ist ein elegantes und methodisch korrektes Verfahren zur Ermittlung von Unfallrisiken. Dennoch gibt es einige Punkte zu bedenken.

Wie bereits erwähnt, ist das Verfahren nur unter der Bedingung zulässig, dass die Verteilung der unschuldig am Unfall Beteiligten als Schätzung der Bezugsgröße aus einem Zufallsexperiment resultiert. Bei einigen Variablen ist diese Bedingung jedoch nicht erfüllt, beispielsweise bei der Variablenausprägung *Dunkelheit*. Denn immer wenn der Unfallverursacher in der Dunkelheit fährt, fährt auch der Unfallbeteiligte, mit dem er zusammenstößt, in der Dunkelheit. Die Variable *Dunkelheit* wirkt immer auf beide Fahrer in gleicher Weise, so dass keine statistische Unabhängigkeit mehr gegeben ist. Dasselbe gilt für andere Variablen wie z. B. Witterung, Fahrbahnbeschaffenheit, Straßenart oder Tageszeit.

Eine weitere Einschränkung ist, dass die Einstufung der Fahrer als Verursacher und Beteiligter durch externe Rater erfolgt – in dem Fall der vorliegenden Studie durch unterschiedliche Polizisten in ganz Bayern. Zudem ist das entscheidende Kriterium für die Bezeichnung als Unfallverursacher die Schuld im juristischen Sinn. Diese kann durchaus von der Unfallursache im (verkehrs)psychologischen Sinn abweichen. Ein Beispiel dafür ist, wenn der Verursacher auf einer Autobahn die Überholspur wechselt, während dort der Beteiligte mit viel zu hoher Geschwindigkeit

herangefahren kommt, so dass der Verursacher die Geschwindigkeit falsch einschätzt. Allerdings stimmt in den allermeisten Fällen das juristische Kriterium der Schuld auch mit der Verursachung im psychologischen Sinn überein. So gesehen gibt der Risikofaktor eigentlich auch nicht das Risiko an, einen Unfall zu verursachen, sondern das Risiko, an einem Unfall (juristisch) schuld zu sein. Allerdings stellt die juristische Schuld einen sehr guten Schätzer für das Unfallrisiko dar (Vollrath, 2002; Terhune, 1983).

Was jedoch bei der Dichotomisierung *Verursacher – Beteiligter* nicht Beachtung findet, ist eine juristische Teilschuld bzw. eine Mitverursachung durch Verhaltensweisen, die offensichtlich kausal mit zur Unfallentstehung beitrugen. Terhune (1982) versuchte daher, die Schuld an der Entstehung eines Unfalls mittels einer fünfstufigen Skala differenzierter zu erfassen (vgl. auch Perchonok, 1978). Dies hat jedoch den Nachteil einer schwierigeren Klassifikation und damit einer sinkenden Interrater-Reliabilität; zudem ist aufgrund der größeren Kategorienzahl eine weitaus größere Anzahl an Unfällen nötig, was jedoch bei der vorliegenden ins Detail gehenden Untersuchung von Verkehrsunfällen nicht realisierbar war.

Trotz dieser Einschränkungen ist die Verursacheranalyse ein hervorragendes Instrument, um die Bedeutung einzelner Einflussgrößen auf das Unfallrisiko zu bestimmen. Das Einbeziehen von Unfallbeteiligten als „Kontrollgruppe“ vergrößert zwar den Aufwand der Datenerhebung immens. Dennoch ist dies kein methodischer Luxus, sondern – wie oben dargelegt – eine methodische Notwendigkeit. Umso mehr erstaunt es, dass sämtliche Autoren früherer Studien zu Verkehrsunfällen (vgl. Kapitel 2.1.3. sowie Kapitel 2.7.1.1. bis 2.7.1.5) meinten, ohne diese Differenzierung auskommen zu können.

Dass die vorliegende Untersuchung die einzige ist, die Ursachen von Verkehrsunfällen nicht nur in dieser Breite und Tiefe untersucht, sondern dafür auch eine korrekte Methodik verwendet, verleiht den Ergebnissen umso höhere Aussagekraft.

4 Ergebnisse

4.1 Verteilung der verschiedenen Unfallarten

Alle 312 untersuchten Verkehrsunfälle wurden wie in Kapitel 3.5.3 beschrieben nach dem Unfalltypenkatalog des Instituts für Straßenverkehr Köln hinsichtlich ihrer Unfallart klassifiziert. Im Folgenden werden die wichtigsten Unfallarten aufgeführt. Aufgrund der großen Verschiedenheit der Unfallereignisse kann jedoch hier nicht auf Details eingegangen werden. Die Auflistung soll lediglich einen groben Überblick vermitteln. Wie in Kapitel 3.5.5 erläutert, wird durch die Klassifizierung mit Hilfe des Unfalltypenkatalogs lediglich eine Aussage über den *Unfalltyp* gemacht, nicht über die *Unfallursache*. Auf Unfallursachen wird ausführlich in Kapitel 4.6 („Einflussfaktoren auf die Unfallverursachung") sowie in Kapitel 4.7 („Potenziale von Fahrerassistenzsystemen") eingegangen.

Unfälle durch Abkommen von Fahrbahn (Typ 1)

Von den untersuchten 312 Unfällen ereigneten sich 21.8 % (68 Unfälle) dadurch, dass der Fahrer alleine ohne das Mitwirken eines anderen Verkehrsteilnehmers von der Fahrbahn abkam. Von diesen Unfällen kamen 27 Fahrer (39.7 %) auf gerader Strecke von der Fahrbahn ab, 20 Fahrer (29.4 %) in einer Linkskurve und 16 Fahrer (23.5 %) in einer Rechtskurve.

Unfälle beim Abbiegen (Typ 2)

15.0 % (47 Unfälle) waren Unfälle, die sich im Zusammenhang mit dem Abbiegen ereigneten. Von diesen Abbiege-Unfällen wurden 12 Unfälle (25.5 %) durch eine Kollision zwischen einem Linksabbieger und einem nachfolgenden Fahrzeug verursacht und 30 Unfälle (63.8 %) durch eine Kollision eines Linksabbiegers mit einem entgegenkommenden Fahrzeug.

Unfälle beim Einbiegen / Kreuzen (Typ 3)

22.4 % (70 Unfälle) geschahen beim Einbiegen oder Kreuzen. Von dieser Unfallart ereigneten sich 37 Unfälle (52.9 %) mit einem Fahrzeug, das von links kam, und 23 Unfälle (32.9 %) mit einem Fahrzeug, das von rechts kam (jeweils Kollisionen mit einem Unfallgegner, der sich *nicht* in einem Überholvorgang befand).

Von denjenigen 37 Unfällen, bei denen der unfallverursachende Fahrer mit einem von links kommenden Unfallgegner kollidierte, wollte der Unfallverursacher in neun Fällen geradeaus fahren, in 22 Fällen nach links und in fünf vier Fällen nach rechts in die vorfahrtsberechtigte Straße einbiegen (fehlend ein Fall mit Unfalltyp 305, siehe Tabelle!).

Tabelle 16: Häufigkeit von Kollisionen mit einem von links kommenden bevorrechtigten Unfallbeteiligten beim Einbiegen oder Kreuzen (Unfalltyp 3) in Abhängigkeit von der beabsichtigten Fahrtrichtung des wartepflichtigen Unfallverursachers. Der Pfeil neben dem „W“ symbolisiert die beabsichtigte Fahrtrichtung des Wartepflichtigen.

	Beabsichtigte Fahrtrichtung des Wartepflichtigen		
	Geradeaus	**Links einbiegen**	**Rechts einbiegen**
	301 W	302 W	303 W
Anzahl der Unfälle	9	22	5

Auffallend ist der Unterschied zwischen den Fahrern, die vor dem Unfall links einbiegen wollten, und denen, die rechts einbiegen wollten. Der Anteil der „linkseinbiegewilligen“ liegt mehr als viermal höher als der der „rechtseinbiegewilligen“ Fahrer. Dies ist ungewöhnlich, da davon auszugehen ist, dass an Kreuzungen Linkseinbiegevorgänge in etwa gleich häufig wie Rechtseinbiegevorgänge sind. Insofern sollten sich auch Unfälle in etwa gleich häufig bei beiden Einbiegevarianten ereignen.

Diese starke Ungleichverteilung könnte man als Hinweis darauf interpretieren, dass Unfälle an Knotenpunkten sich auch aufgrund der unterschiedlich großen mentalen Beanspruchung des Fahrers ereignen. Denn bei einem Rechtseinbiegevorgang muss dieser lediglich auf den von links kommenden Verkehr achten; bei einem Linkseinbiegevorgang jedoch muss er nicht nur den von links kommenden Verkehr, sondern zusätzlich auch den von rechts kommenden und den entgegenkommenden Verkehr beachten. Weil er sich dadurch auch auf den vor ihm und rechts von ihm liegenden Bereich der Straße konzentrieren muss, steigt die Wahrscheinlichkeit, ein von links kommendes Fahrzeug zu übersehen.

Fünf aller 70 Unfälle (7.1 %) beim Einbiegen oder Kreuzen waren Kollisionen mit einem bevorrechtigten Radfahrer, der auf einem parallel zur Vorfahrtsstraße verlaufenden Radweg fuhr. In allen fünf Fällen fuhr der Radfahrer dabei verbotswidrig auf dem falschen Radweg, d. h. er kam vom wartepflichtigen Autofahrer aus gesehen von rechts anstatt wie zu erwarten von links (Unfalltyp 342).

Unfälle mit Fußgängern (Typ 4)

Bei vier von 312 Unfällen (1.3 %) kollidierte ein Autofahrer mit einem Fußgänger. Aufgrund der

geringen Anzahl sind innerhalb dieser Kategorie keine weiteren Aussagen möglich.

Unfälle durch ruhenden Verkehr (Typ 5)

Fünf von 312 Unfällen (1.6 %) ereigneten sich durch Konflikte mit ruhendem Verkehr, z. B. beim Ausparken oder Öffnen der Wagentür. Ebenso wie bei den Unfällen mit Fußgängern sind bei dieser Kategorie aufgrund der geringen Fallzahl keine weiteren Aussagen möglich.

Unfälle im Längsverkehr (Typ 6)

Insgesamt ereigneten sich 92 Unfälle im Längsverkehr (29.5 %). 62 davon waren Auffahrunfälle (67.4 %), 28 waren Kollisionen mit einem Fahrzeug des Gegenverkehrs (30.4 %). Von den 62 Auffahrunfällen ereigneten sich 24 Unfälle (26.1 %) zwischen einem vorausfahrenden Fahrzeug, das mit konstanter Geschwindigkeit fuhr oder verkehrsbedingt bremsen musste, und einem nachfolgenden Fahrzeug, 21 Unfälle (22.8 %) durch ein Auffahren auf ein Stauende, sieben Unfälle (7.6 %), weil das vorausfahrende Fahrzeug an einer Kreuzung oder Einmündung Vorfahrt gewähren musste und zehn Unfälle (10.9 %) nach einem Spurwechsel des vorausfahrenden Fahrzeugs.

Von den 28 Unfällen durch Kollisionen mit dem Gegenverkehr ereigneten sich sieben nach einem missglückten Überholvorgang und 21 nach einem Abkommen auf die Gegenfahrbahn (z. B. aufgrund eines Fahrfehlers).

Sonstige Unfälle (Typ 7)

Sonstige Unfälle, die nach dem Kategorisierungssystem des Unfalltypenkatalogs in die siebte Kategorie fallen, traten insgesamt bei 26 Unfällen auf. Sie umfasst u. a. Unfälle durch plötzliche Hindernisse (zwei Fälle) oder Tiere (sechs Fälle) auf der Fahrbahn, sowie „plötzliches körperliches Unvermögen des Fahrers“ durch Einschlafen am Steuer (acht Fälle) oder kurzzeitige Bewusstlosigkeit (fünf Fälle). Unfälle durch technische Defekte traten bei der untersuchten Stichprobe nicht auf.

4.2 Einflussfaktor Alter

4.2.1 Einfluss des Alters auf die Unfallverursachung

Als ältere Autofahrer werden in dieser Arbeit Fahrer ab einem Alter von 60 Jahren bezeichnet, als junge Fahrer Personen bis 24 Jahre und als „mittel alte“ Fahrer Personen von 25 bis 59 Jahren.

Die folgende Tabelle zeigt die Verteilung von Unfallverursachern und Unfallbeteiligten in Abhängigkeit vom Alter:

Tabelle 17: Verteilung von Unfallverursachern und Unfallbeteiligten in Abhängigkeit vom Alter

	bis 24	**25 bis 59**	**ab 60**	**gesamt**
Verursacher	67 (62.6 %)	195 (56.7 %)	36 (64.3 %)	298 (58.8 %)
Beteiligte	40 (37.4 %)	149 (43.3 %)	20 (35.7 %)	209 (41.2 %)
gesamt	107 (100.0 %)	344 (100.0 %)	56 (100.0 %)	507 (100.0 %)

Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, ist der Anteil der Unfallverursacher im Verhältnis zur Gesamtzahl aller Fahrer einer Altersgruppe bei den jungen Fahrern und den älteren Fahrern geringfügig erhöht (jeweils 62.6 % und 64.3 %). Bei den Fahrern der mittleren Altersgruppe beträgt der Anteil lediglich 56.7 %. Der Unterschied ist jedoch gering und nicht signifikant ($Chi^2(df=2, N=507) = 1.97$, n.s.). Die Daten decken sich jedoch von der Tendenz her mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen mit großem Zahlenmaterial (Kauer 2003, S. 72), die signifikante Ergebnisse finden (Relatives Risiko (RR) für ältere Fahrer im Vergleich zu mittel alten 1.18, für junge Fahrer 1.26; hier nur jeweils nur 1.13 für ältere und 1.10 für junge Fahrer, beides jedoch nicht signifikant).

Differenziert man innerhalb der älteren Fahrer stärker nach dem Alter, lässt sich jedoch auch bei den vorliegenden Daten (trotz der geringen Zahl an Unfällen) der Trend erkennen, dass mit zunehmendem Alter das Unfallrisiko steigt.

Tabelle 18: Verteilung von Unfallverursachern und Unfallbeteiligten in Abhängigkeit vom Alter (kumuliert) bei älteren Fahrern

	ab 55	**ab 60**	**ab 65**	**ab 70**	**ab 75**
Verursacher	46 (57.5 %)	36 (64.3 %)	27 (69.2 %)	16 (72.7 %)	12 (75.0 %)
Beteiligte	34 (42.5 %)	20 (35.7 %)	12 (30.8 %)	6 (27.3 %)	4 (25.0 %)
gesamt	80 (100.0 %)	56 (100.0 %)	39 (100.0 %)	22 (100.0 %)	16 (100.0 %)

Über die Fahrer aller Altersgruppen gerechnet waren 58.8 % aller Fahrer die Verursacher eines Unfalls. Wie aus der obigen Tabelle und der folgenden Abbildung zu entnehmen ist, steigt dieser Anteil ab einem Alter von 60 Jahren an. Insbesondere ab einem Alter von mindestens 70 Jahren ist die Wahrscheinlichkeit einer Unfallverursachung deutlich erhöht.

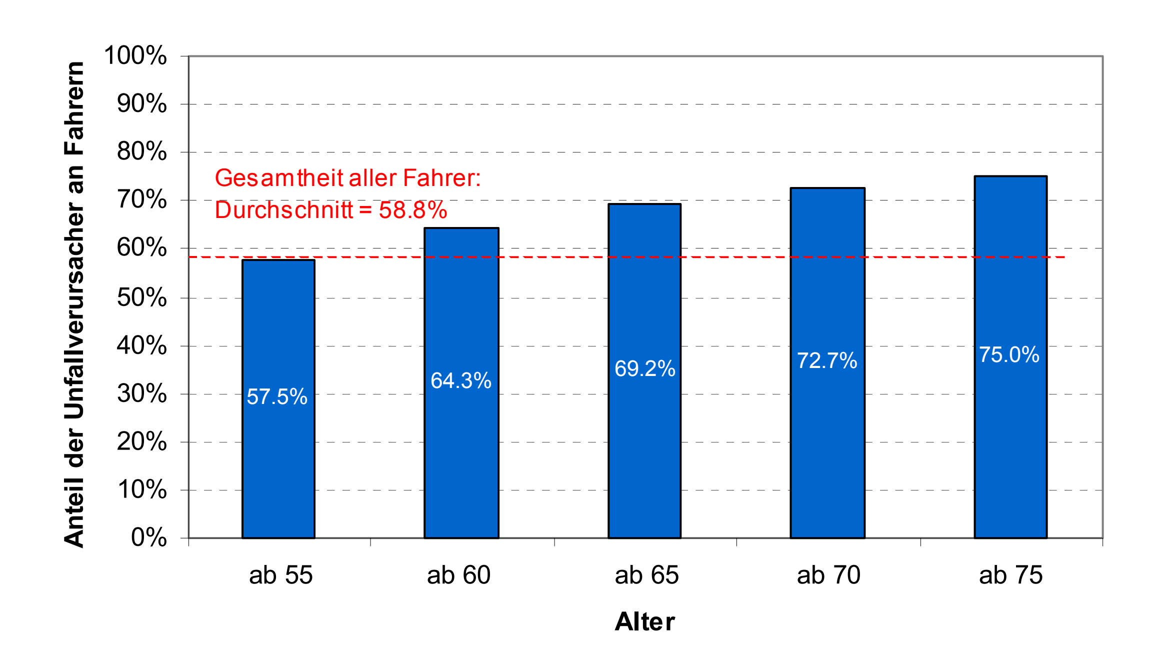


Abbildung 11: Der Anteil der unfallverursachenden Fahrer, relativiert an allen unfallbeteiligten Fahrern, in Abhängigkeit vom Alter (kumuliert). Die Grafik zeigt: Je älter der Fahrer, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass dieser auch der Verursacher eines Unfalls ist. 72.7 % aller Fahrer mit 70 Jahren und älter sind die Verursacher von Verkehrsunfällen – für die Gesamtheit aller Fahrer (jeden Alters) liegt der Anteil bei 58.8 %. Fahrer ab 60 Jahren: N=56.

4.2.2 Einfluss des Alters auf die Unfallart

Die folgende Tabelle zeigt, dass es hinsichtlich der Arten von Unfällen, die von Fahrern verursacht werden, deutliche Unterschiede zwischen den Altersklassen gibt.

Tabelle 19: Vergleich verschiedener Unfalltypen in Abhängigkeit vom Alter des Unfallverursachers

	bis 24	**25 bis 59**	**ab 60**	**gesamt**
Abkommen von Fahrbahn	24 (35.8 %)	41 (21.0 %)	2 (5.6 %)	67 (22.5 %)
Abbiegen-Unfall	11 (16.4 %)	30 (15.4 %)	4 (11.1 %)	45 (15.1 %)
Unfall durch Einbiegen / Kreuzen	12 (17.9 %)	42 (21.5 %)	13 (36.1 %)	67 (22.5 %)
Fußgänger-Unfall	0 (0.0 %)	4 (2.1 %)	0 (0.0 %)	4 (1.3 %)
Unfall durch ruhenden Verkehr	0 (0.0 %)	4 (2.1 %)	1 (2.8 %)	5 (1.7 %)
Unfall im Längsverkehr (z. B. Auffahrunfall)	18 (29.6 %)	56 (28.7 %)	10 (27.8 %)	84 (28.2 %)
Sonstiges (Einschlafen, Ohnmacht, techn. Defekt, u. a.)	2 (3.0 %)	18 (9.2 %)	6 (16.7 %)	26 (8.7)
gesamt	67 (100.0 %)	195 (100.0 %)	36 (100.0 %)	298 (100.0 %)

Bei älteren Autofahrern war die mit Abstand häufigste Unfallart Unfälle beim Einbiegen oder Kreuzen (36.1 %). Wie auch die folgende Abbildung zeigt, nehmen diese Unfälle ab einem Alter von 60 Jahren im Vergleich zur mittleren Altersgruppe dramatisch zu (Zunahme um 68 %). Ein fast ebenso starker Abfall hingegen ist bei Alleinunfällen durch Abkommen von der Fahrbahn zu verzeichnen (Abnahme um 73 % im Vergleich zur mittleren Altersgruppe). Jüngere Fahrer kommen hingegen besonders häufig alleine von der Fahrbahn ab. Ein Chi^2-Test (ohne die Kategorien „Fußgänger-Unfälle“ und „Unfälle durch ruhenden Verkehr“, für die kaum Unfälle vorhanden waren) ergab einen signifikanten Unterschied ($Chi^2(df=8, N=289) = 19.10, p<.05$). Signifikante Unterschiede hinsichtlich der Altersklasse fanden sich bei Alleinunfällen, Unfällen durch Einbiegen und Kreuzen und bei sonstigen Unfällen.

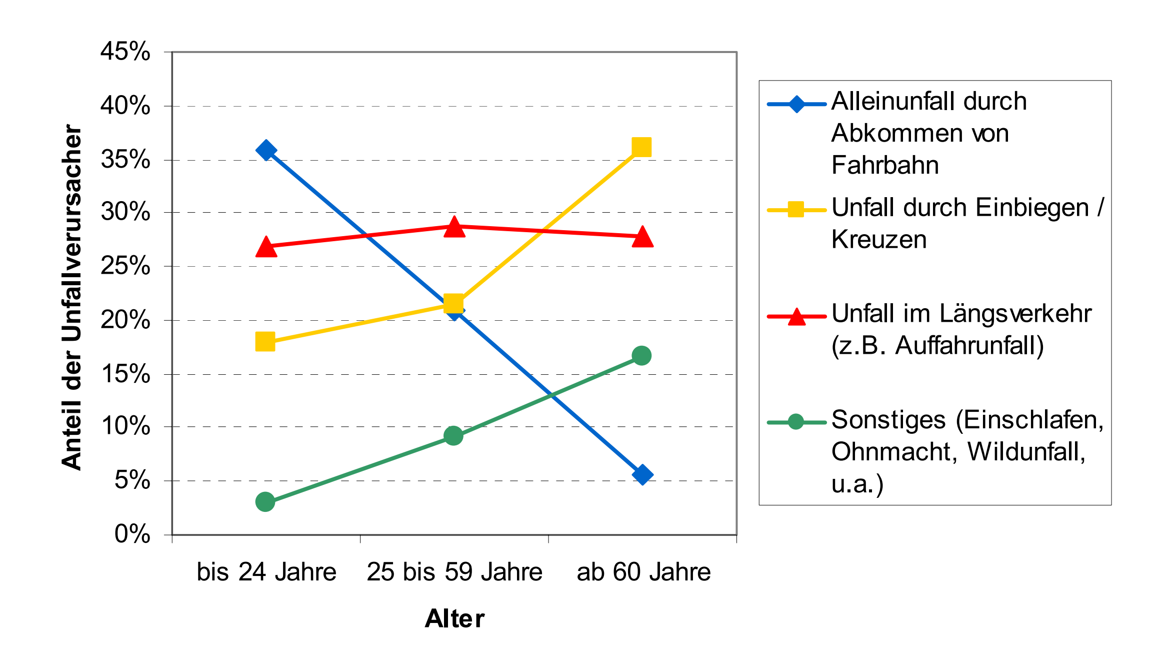


Abbildung 12: Vergleich verschiedener Unfalltypen in Abhängigkeit vom Alter des Unfallverursachers. Wie die Grafik zeigt, waren die meisten Unfälle, die von älteren Autofahrern verursacht wurden, Unfälle durch Fehler beim Einbiegen oder Kreuzen. Alleinunfälle aufgrund von Abkommen von der Fahrbahn ohne Fremdbeteiligung waren bei älteren Autofahrern sehr selten, bei jungen Fahrerin hingegen waren sie der häufigste Unfalltyp. Zugleich zeigt die Abbildung die Veränderung der Risiken für bestimmte Unfalltypen mit zunehmendem Alter. Je älter die Fahrer, desto häufiger wurden Unfälle beim Einbiegen oder Kreuzen sowie sonstige Ursachen (darunter auch Ohnmachten) und desto seltener Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn (N=298).

Eine Hauptursache für das häufige Abkommen von der Fahrbahn bei jungen Fahrern war nicht angepasste Geschwindigkeit oder mangelnde Fahrerfahrung. Im Gegensatz zu der verbreiteten Ansicht, diese Unfallart sei hauptsächlich für junge Männer typisch, zeigte sich jedoch bei den untersuchten Fällen, dass dem nicht so war: Junge Frauen hatten genauso häufig Alleinunfälle durch Abkommen von der Fahrbahn wie junge Männer (37.5 % der jungen Frauen vs. 34.9 % der jungen Männer; N=67, n.s.). Anders hingegen bei den Auffahrunfällen: Hier verursachten junge Männer doppelt so häufig wie Frauen einen Unfall (32.6 % der jungen Männer vs. 16.7 % der jungen Frauen; (n.s.)).

Die Abnahme von Auffahr- und Abkommen-Unfällen bei den älteren Fahrern könnte ihren Grund in der geringeren Risikobereitschaft und den damit verbundenen geringeren Fahrgeschwindigkeit en haben. Die starke Zunahme an Einbiegen- und Kreuzungsunfällen bei den älteren Fahrern ist hingegen schwieriger zu erklären. Möglicherweise ist sie eine Folge nachlassender Konzentrationsfähigkeit und nachlassender Sehfähigkeit.

In der Restkategorie der „Sonstigen Unfälle“ steigt das Unfallrisiko ebenfalls mit zunehmendem

Alter. Von den sechs älteren Fahrern, die einen solchen Unfall hatten, kamen drei aufgrund einer Ohnmacht, eines Schwächeanfalls oder eines Schlaganfalls von der Fahrbahn ab. 60 % der Unfälle durch Ohnmachten / Schwächeanfälle (drei von fünf) entfallen auf ältere Fahrer, obwohl sie nur 11 % aller verunfallten Fahrer ausmachen. Ein Zusammenhang mit dem Alter erscheint durchaus plausibel, da mit zunehmendem Alter auch Erkrankungen zunehmen, die Schwächeanfälle und Ohnmachten begünstigen, z. B. Kreislaufprobleme oder Diabetes (→ Unterzucker) (siehe dazu auch Kapitel 4.7.8, „Potenzial einer Aufmerksamkeitskontrolle“).

Deutliche altersabhängige Unterschiede bestehen auch bezüglich der verschiedenen Fehlerarten. Auf diese wird jedoch in Kapitel 4.4.9 („Fehlerarten in Abhängigkeit vom Alter“) sowie Kapitel 4.5.3 („Einfluss des Alters auf die Unfallverursachung durch Verstöße“) eingegangen. Weitere altersspezifische Unterschiede hinsichtlich einzelner Einflussfaktoren finden sich – sofern diese vorhanden sind – in den jeweiligen Kapiteln zu diesen Variablen.

4.3 Einflussfaktor Geschlecht

4.3.1 Einfluss des Geschlechts auf die Unfallverursachung

Gut zwei Drittel (68.1 %) der untersuchen Unfälle wurden von Männern verursacht, ein Drittel von Frauen. Diese Zahl an sich sagt wenig aus, da Männer im Durchschnitt eine höhere Verkehrsbeteiligung aufweisen als Frauen, d. h. sie legen pro Jahr mehr Kilometer zurück und haben damit auch ein größeres Unfallrisiko. Daher ist es notwendig, den Anteil der Unfallverursacher bei beiden Geschlechtern miteinander zu vergleichen.

Tabelle 20: Der Einfluss des Geschlechts auf die Unfallverursachung (N=526)

	Männer	**Frauen**	**Gesamt**
Verursacher	209 (58.4 %)	102 (60.7 %)	311 (59.1 %)
Beteiligte	149 (41.6 %)	66 (39.3 %)	215 (40.9 %)
Gesamt	358 (100.0 %)	168 (100.0 %)	526 (100.0 %)

Männer waren in 58.4 % der Unfälle, in die sie verwickelt waren, die Unfallverursacher, Frauen hingegen in 60.7 %. Der Unterschied ist nicht signifikant (Chi^2(df=1, N=526) = 0.26, n.s.).

4.3.2 Einfluss des Geschlechts auf die Unfallart

Bei den Unfallarten gab es keine nennenswerten Geschlechtsunterschiede. Frauen verursachten zwar geringfügig mehr Unfälle beim Einbiegen und Kreuzen als Männer (31.6 % der weiblichen

Verursacher vs. 19.1 % der männlichen), der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Frauen waren zudem etwas häufiger in Unfälle verwickelt, bei denen sie die Fahrspur wechselten und dabei ein von hinten kommendes Fahrzeug übersahen (siehe dazu auch Kapitel 4.7.16 „Potenzial eines Spurwechselassistenten“). Ein Chi^2-Test zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht und Unfalltyp (ohne „Fußgänger-Unfälle“ und „Unfälle durch ruhenden Verkehr“, für die zu wenig Fälle vorhanden waren) war nicht signifikant ($Chi^2(df=4, N=302) = 6.44$, n.s.).

4.4 Ergebnisse der Fehleranalyse (nach Rasmussen)

4.4.1 Verteilung der Fehlerarten

Für die Auswertung der Fehlerarten (nach Rasmussen, vgl. Kapitel 2.7.2.2) wurden sowohl die Fehler der Unfallverursacher als auch die Fehler der Unfallbeteiligten mit einbezogen. In aller Regel wurden die Fehler von den Unfallverursachern begangen. Es gab jedoch auch wenige Ausnahmen, beispielsweise wenn ein Beteiligter in einer kritischen Situation zur falschen Seite hin auswich (Zielsetzungsfehler), obwohl bei einer richtigen Reaktion der Unfall dadurch vermeidbar gewesen wäre. Eine Ausnahme bilden die „Strukturellen Fehler“, für die nur die Verursacher in die Auswertung mit eingingen. Der Grund dafür ist, dass auch alle Beteiligten, die keinen Fehler begangen haben, nach dem Rasmussen-Schema in die Kategorie „Mechanischer oder struktureller Fehler“ fallen, weil sie keine Einflussmöglichkeit zur Verhinderung des Unfalls hatten, da die Ursache bei dem gegnerischen Fahrer lag. Für die Fehleranalyse sind als „Mechanischer oder struktureller Fehler“ jedoch nur solche Fehlerursachen interessant, die durch äußere Umstände (z. B. Technik des Fahrzeugs oder Straßenverhältnisse) verursacht wurden.

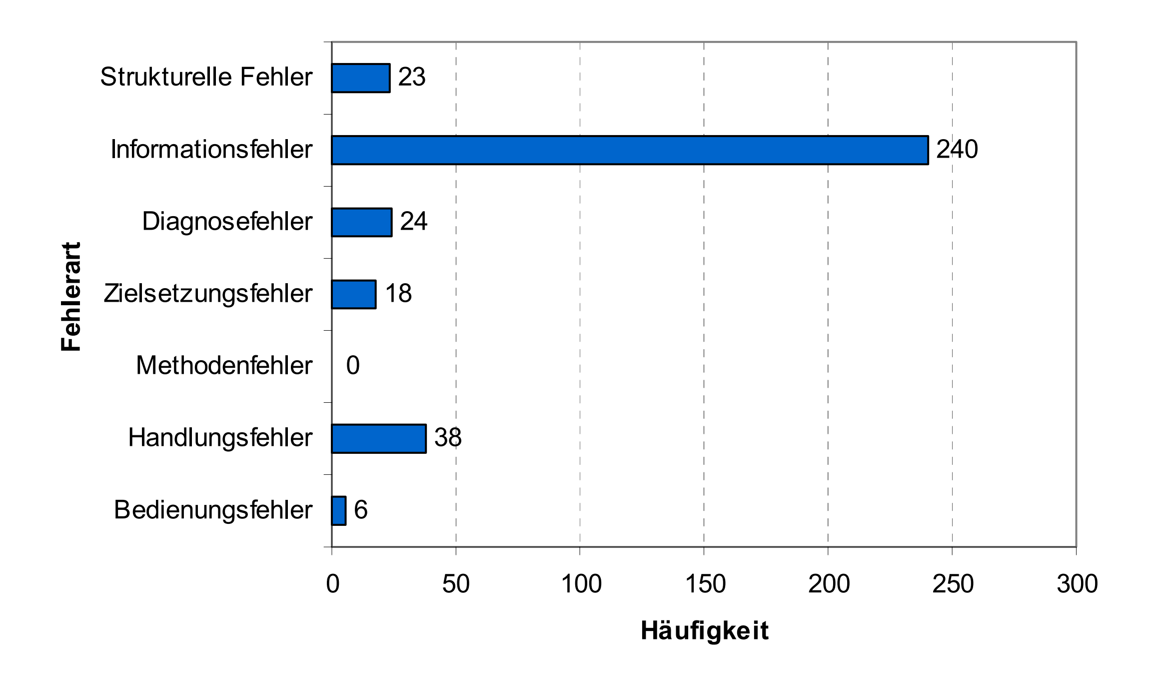


Abbildung 13: Die Häufigkeit der verschiedenen Fehlerarten, die bei den 312 untersuchten Unfällen auftraten. Am häufigsten ereigneten sich „Informationsfehler", die bei 77 % aller Unfälle eine unfallverursachende Rolle spielten. Für die Statistik wurden sowohl Unfallverursacher als auch Unfallbeteiligte ausgewertet; eine Ausnahme bilden die „Strukturellen Fehler", für die nur die Verursacher in die Auswertung mit eingingen. Mehrfachnennungen (mehr als ein Fehler pro Fahrer) sind möglich.

Relativiert man die Häufigkeiten der einzelnen Fehlerarten an der Anzahl der Unfälle (N=312), ergibt sich folgendes Bild: Mit Abstand am häufigsten führte ein Informationsfehler zu einem Verkehrsunfall (76.9 %), d. h. die Ursache bestand darin, dass ein Fahrer eine Information zu spät oder gar nicht wahrgenommen hatte. Die Gründe hierfür sind sehr vielfältig und werden in den folgenden Kapiteln erörtert (Kapitel 4.6.1-4.6.4).

Alle anderen Fehlerarten traten wesentlich seltener auf: Diagnosefehler lagen bei 7.7 % aller Unfälle, Zielsetzungsfehler bei 5.8 %, Handlungsfehler bei 12.2 %, Bedienungsfehler bei 1.9 % und Strukturelle Fehler bei 7.4 %. Die mit Abstand meisten Fehler (322 von 349) wurden von den Unfallverursachern begangen, die übrigen 27 von den Unfallbeteiligten.

4.4.2 Unfälle durch Informationsfehler

Die mit Abstand meisten Fehler, die zu einem Verkehrsunfall führten, waren Informationsfehler (76.9 % aller Unfälle). Die Gründe dafür, dass ein Fahrer eine Information zu spät oder gar nicht wahrgenommen hatte, sind sehr vielfältig und können daher nicht in einem einzigen Kapitel abgehandelt werden. Sie reichen von Fehlern bei der Wahrnehmung bis hin zu Ablenkungen unter-

schiedlichster Art (vgl. auch Rumar, 1990, S. 1282 ff). Die einzelnen Ursachen für Informationsfehler werden daher in den Kapiteln 4.6.1 bis 4.6.4 erörtert.

4.4.3 Unfälle durch Diagnosefehler

Diagnosefehler traten in 7.7 % der Unfälle auf. In zehn Fällen interpretierte der Fahrer die Intentionen anderer Verkehrsteilnehmer falsch und in 14 Fällen schätzte er Entfernung und/oder Geschwindigkeit anderer Verkehrsteilnehmer falsch ein.

Ein Beispiel für einen Unfall mit Diagnosefehler, bei dem ein Fahrer die Entfernung und Geschwindigkeit eines anderen Fahrzeugs falsch eingeschätzt hatte, ist folgendes:

Fall 155:

> Zum Unfallzeitpunkt war es dunkel und die Straßenbeleuchtung war in Betrieb. Die Fahrerin eines Pkw stand innerorts an einer übersichtlichen Kreuzung an einem Stoppschild und wollte nach links in die vorfahrtsberechtigte Straße einbiegen. Sie sah einen Mercedes Kleintransporter von links kommen, aber dachte, sie könnte gefahrlos abbiegen. Dabei verschätzte sie sich jedoch bei der Entfernung und/oder der Geschwindigkeit des Kleintransporters und fuhr in die Kreuzung ein, wodurch es zur Kollision kam.

Bei diesem Unfall gibt es keine Anhaltspunkte dafür, dass der Transporter zu schnell fuhr – bei anderen Unfällen mit Diagnosefehler liegt jedoch häufig die Vermutung nahe, dass eine Geschwindigkeitsüberschreitung des Unfallgegners dazu beigetragen hat, dass der Unfallverursacher dessen Geschwindigkeit fehlerhaft einschätzte.

Beispiele für Diagnosefehler, die durch das Fehlinterpretieren der Intentionen anderer Verkehrsteilnehmer entstanden, sind Fahrer, die bei anderen Fahrern z. B. eine andere beabsichtigte Fahrtrichtung vermuteten und dadurch selbst eine falsche Handlungsalternative wählten (z. B. Abbiegen anstatt anzuhalten) oder die eine winkende Handbewegung (drei Fälle) falsch deuteten.

4.4.4 Unfälle durch Zielsetzungsfehler

Zielsetzungsfehler ereigneten sich in 5.8 % der Unfälle. Eine häufigere Ursache (vier Fälle) für einen Zielsetzungsfehler war, dass der Fahrer bei einem Tier, das über Fahrbahn lief oder bereits tot auf der Fahrbahn lag, die Entscheidung traf, bei hoher Geschwindigkeit (d. h. mehr als 100 km/h) vor dem Tier auszuweichen. In der Folge kamen sie von der Fahrbahn ab, kollidierten mit dem Gegenverkehr oder verloren die Kontrolle über ihr Fahrzeug. Die richtige Entscheidung wäre gewesen, nur zu bremsen, die Fahrtrichtung jedoch unverändert beizubehalten (auch wenn dies möglicherweise einem Tier das Leben gekostet hätte).

Die übrigen 14 Zielsetzungsfehler verteilten sich auf unterschiedliche Fehler. Ein Fahrer lenkte

beispielsweise aus übergroßer Vorsicht nach rechts und kam dadurch von der Fahrbahn ab, als ihm auf einer Landstraße ein Lkw entgegenkam, der jedoch vollständig auf dessen Spur blieb und keine Gefahr darstellte. Eine andere Fahrerin ließ vor einer drohenden Kollision mit beiden Händen das Lenkrad los anstatt zu lenken, weil sie Angst hatte sich beim Zusammenstoß die Handgelenke am Lenkrad zu brechen, und zog den rechten Fuß zurück, anstatt eine Vollbremsung zu machen. Ein Beispiel für einen Zielsetzungsfehler ist folgender Unfall:

Fall 1:

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Fahrbahn war trocken. Eine 56-jährige Fahrerin eines Pkw fuhr mit einer Geschwindigkeit von ca. 80 km/h auf einer ihr gut bekannten Landstraße. Während sie fuhr, näherten sich von hinten zwei Motorradfahrer (Leichtkrafträder) und schlossen auf den Pkw auf. Die beiden jungen Fahrer (16 und 17 Jahre) fuhren nebeneinander und hielten nach Aussagen aller Beteiligten einen Abstand von nur dreieinhalb bis vier Meter. Die Pkw-Faherin sah die Motorradfahrer im Rückspiegel und sagte, dass sie sich durch deren dichtes Auffahren bedrängt gefühlt habe.
>
> Sie kam an eine unübersichtliche Kuppe mit anschließender Linkskurve und sah dort ein anderes Fahrzeug entgegenkommen. Obwohl das Fahrzeug auf seiner Spur blieb, fühlte sie sich dennoch bedroht und bremste deshalb. Dadurch fuhren die beiden dicht hinter ihr fahrenden Motorradfahrer auf das Heck ihres Fahrzeugs auf.



Abbildung 14: Die Unfallstelle des oben beschriebenen Unfalls. Auf der unübersichtlichen Kuppe bremste die Pkw-Fahrerin, als sie ein entgegenkommendes Fahrzeug sah, so dass die dicht hinter ihr nebeneinander fahrenden Motorradfahrer auffuhren.

Bei diesem Unfall handelt es sich um einen Zielsetzungsfehler, weil die Intention ihrer Handlung bereits falsch war. Da sie wusste, dass sich unmittelbar hinter ihr die zwei Motorradfahrer befanden, hätte sie nicht bremsen dürfen, zumal keine konkrete Gefährdungssituation vorlag. Die Unfallstelle war aufgrund der Kuppe und der dahinterliegenden Kurve zwar unübersichtlich, doch sie hätte dennoch ihre Fahrt unvermindert fortsetzen können. Das Reduzieren der Geschwindigkeit an einer unübersichtlichen Stelle ist zwar normal und grundsätzlich sinnvoll – in dieser Situation war es jedoch falsch. Eine tatsächliche Gefährdung bestand in dem aggressiven, dichten Auffahren der Motorradfahrer, durch das sie sich auch bedroht fühlte. Anders als in den meisten Situationen ist in diesem Fall jedoch die Gefahr durch Bremsen nicht zu beseitigen – im Gegenteil: sie wird dadurch noch verschärft. Der Fehler der Pkw-Fahrerin bestand darin, dass sie eine an sich gute und sinnvolle Regel („an unübersichtlichen Stellen und bei Gefahr bremsen!“) in einer unpassenden Situation anwendete.

4.4.5 Unfälle durch Methodenfehler

Unfälle durch Methodenfehler traten bei den insgesamt 312 untersuchten Unfällen kein einziges Mal auf. Dies ist nicht sehr überraschend, da es in einem Fahrzeug bei Eintreten einer kritischen Situation in der Regel nie mehrere Möglichkeiten gibt, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Wo jedoch keine Handlungsalternativen vorhanden sind, hat der Fahrer auch keine Gelegenheit, eine falsche Vorgehensweise auszuwählen (vgl. Kapitel 2.7.2.2). Hier unterscheidet sich das Steuern eines Autos beispielsweise von der Überwachung einer komplexen Industrieanlage, für die das Klassifikationsschema von Rasmussen ursprünglich entwickelt wurde. Bei künftigen Untersuchungen von Verkehrsunfällen könnte daher auf diese Kategorie verzichtet werden.

4.4.6 Unfälle durch Handlungsfehler

Handlungsfehler ereigneten sich in 12.2 % der untersuchten Verkehrsunfälle. Bei 38 Unfällen mit Handlungsfehler ging bei über der Hälfte (55 %) der Fälle (21 Unfälle) zugleich ein Informationsfehler voraus. Die meisten Handlungsfehler (33 von 38, d. h. 86.8 %) sind eine Schreckreaktion auf die plötzlich eingetretene Gefahrensituation. Ein Beispiel für einen Unfall aufgrund eines Handlungsfehlers:

Fall 221:

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Fahrbahn war trocken. Eine 47-jährige Fahrerin (seit neun Jahren im Besitz eines Führerscheins) wollte mit ihrem Pkw innerorts an einer Kreuzung nach links in eine Seitenstraße einbiegen. Die Fahrbahn besaß in beiden Fahrtrichtungen zwei Fahrstreifen, zusätzlich parkten an beiden Fahrbahnrändern Autos. Während des Abbiegevorgangs musste sie verkehrsbedingt anhalten und stand dadurch quer auf der Fahrspur des Gegenverkehrs. In diesem Moment fuhr ein Omnibus des Gegenverkehrs, der

zuvor ca. sieben Meter vor der Seitenstraße am Fahrbahnrand gehalten hatte, an und konnte nicht weiterfahren, da die Audi-Fahrerin die Fahrspur blockierte. Die Fahrerin erschrak durch den auf sie zukommenden Omnibus so sehr, dass sie in der Absicht, die Fahrbahn möglichst schnell frei zu machen, das Lenkrad nach links riss und Vollgas gab. Dabei brach das Heck ihres Fahrzeugs nach rechts aus und sie kam nach links von der Fahrbahn ab. Sie fuhr über den Gehsteig und raste in den Eingang eines Teppichgeschäfts auf der linken Seite der Straße, in die sie einbiegen wollte.

Ein Handlungsfehler liegt bei diesem Unfall deswegen vor, weil das beabsichtigte Handlungsziel, nämlich das Räumen der Kreuzung im Prinzip richtig gewesen wäre, die dafür notwendige Handlung jedoch fehlerhaft ausgeführt wurde. In diesem Fall unterliefen der Fahrerin sogar zwei Fehlhandlungen (jedoch nur als ein Handlungsfehler gezählt), nämlich das Verreißen des Lenkrads und Durchdrücken des Gaspedals.



Abbildung 15: Die Unfallstelle des oben beschriebenen Unfalls, aufgenommen entgegen der Fahrtrichtung der Audi-Fahrerin, die von ihrer Fahrtrichtung aus gesehen nach links in die Seitenstraße abbiegen wollte. Sie stand dabei bereits quer zur Fahrbahn auf der Spur des Gegenverkehrs. Der von der Haltestelle anfahrende Omnibus befand sich an derselben Stelle wie der Bus auf dem obigen Bild.

Der mit Abstand häufigste Handlungsfehler war das Verreißen des Lenkrads. Es ereignete sich bei 31 der 38 Handlungsfehler (81.6 %). Weitere Arten von Handlungsfehler waren ein zu schwaches Lenken (zwei Fälle), ein zu starkes Bremsen (zwei Fälle), ein versehentlich zu frühes oder zu starkes Beschleunigen (zwei Fälle) und zwei sonstige Fehler (Mehrfachnennungen möglich).

Grundsätzlich nicht als Handlungsfehler gewertet wurde ein zu schwaches Bremsen. Der Grund dafür ist, dass eine Beurteilung, ob ein Fahrer vor dem Unfall zu schwach gebremst hat oder stark genug, jedoch nur zu spät, objektiv nicht möglich ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass zahl-

reiche Unfälle dadurch mitverursacht wurden, weil die Fahrer – sowohl Verursacher als auch Beteiligter – in der kritischen Situation nicht stark genug gebremst haben, da zahlreiche Untersuchungen (z. B. McGehee & Dingus, 1992; Broen & Chiang, 1996) zeigen, dass Fahrer das Bremspotenzial ihres Autos nicht voll ausnutzen (ein Grund für die Entwicklung von Bremsassistenten). Über den Einfluss dieses Effekts an der Unfallverursachung kann jedoch anhand des untersuchten Datenmaterials keine Aussage getroffen werden.

Beim häufigsten Handlungsfehler, nämlich dem Verreißen des Lenkrads, lassen sich verschiedene Situationen unterscheiden:

- Nach Abkommen auf das Bankett oder Berühren des Randsteins – auch des linken Randsteins bei Unfällen auf der Überholspur der Autobahn – (ohne Sekundenschlaf) (17 Fälle)
- Nach Abkommen auf die Gegenfahrbahn (vier Fälle)
- Nach Erwachen aus Sekundenschlaf ohne vorheriges Abkommen (zwei Fälle)
- Nach Wildwechsel auf der Fahrbahn (zwei Fälle)
- Sonstiges, z. B. zu starke Gegenlenkbewegung nach seitlicher Windböe (sechs Fälle)

Bei den Unfällen durch Verreißen des Lenkrads nach einem plötzlichen Hindernis (z. B. Wild) auf der Fahrbahn gibt es eine feine, aber logische Unterscheidung zu den Zielsetzungsfehlen: Ein Zielsetzungsfehler liegt vor, wenn in der Kette des Informationsverarbeitungsprozesses bereits das Ziel, vor dem Hindernis auszuweichen, falsch war. Ein Handlungsfehler hingegen liegt vor, wenn der Fahrer korrekterweise *nicht* ausweichen wollte, jedoch unabsichtlich dennoch im letzten Moment das Lenkrad verriss, oder wenn das Ziel des Ausweichens *richtig* war (z. B. bei einem liegengebliebenen Fahrzeug auf der Fahrbahn), das Lenkmanöver jedoch fehlerhaft ausgeführt wurde.

Der häufigste Handlungsfehler – das Verreißen des Lenkrads nach Abkommen auf das Bankett – lief typischerweise so ab: Ein Fahrer geriet meist auf einer Landstraße versehentlich (z. B. aufgrund von Unachtsamkeit, visueller Ablenkung, Alkoholisierung oder Übermüdung) zuerst mit den rechten Rädern nach rechts auf das Bankett, erschrak dadurch, verriss das Lenkrad nach links und kam durch die zu starke Lenkbewegung ins Schleudern, wodurch er die Kontrolle über das Fahrzeug verlor (Ein Beispiel für diese Unfallart ist der Fall 58, siehe Kapitel 4.7.7).

4.4.7 Unfälle durch Bedienungsfehler

Bedienungsfehler spielten bei 1.9 % der untersuchten Unfälle eine Rolle. Ein Fahrer rutschte beispielsweise während des Bremsvorgangs aufgrund seiner durch Regen nasser, glatter Lederschuhsohlen vom Bremspedal ab, ein anderer aufgrund von Schneeresten an den Schuhen; beide Fahrer waren kurz zuvor ins Auto gestiegen, so dass die Schuhsohlen noch nicht getrocknet waren. Zwei Fahrer bremsten versehentlich viel zu stark, da sie bei neuen ihnen ungewohnten Fahrzeugen (in einem Fall 14 Tage alt, im anderen fremdes, völlig ungewohntes Fahrzeug), die Stärke

der Bremsen nicht gewohnt waren. (Zu Unfällen durch Fehlbedienung von Pedalen im Auto siehe auch Wierwille, 1991 sowie Perel, 1976, der mit seiner Methode der Auswertung von Polizeiberichten lediglich auf einen Anteil von 0.11 % aller Unfälle kam.)

Der subtile Unterschied zu einem Handlungsfehler besteht darin, dass bei einem Bedienungsfehler der Fehler unmittelbar mit der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle zusammenhängt. Bei dem Unfall beispielsweise, bei dem der Fahrer mit dem Fuß vom Bremspedal abrutschte, wurde die Handlung vom Fahrer zwar eigentlich richtig ausgeführt, das Problem lag jedoch in der Rutschigkeit seiner nassen Ledersohle. Bei einem anderen Schuhwerk oder einer verbesserten Gestaltung des Bremspedals (Material, Oberflächenstruktur) könnte dieses Abrutschen möglicherweise verhindert werden.

4.4.8 Unfälle durch Strukturelle Fehler

Insgesamt wurden 7.4 % der Unfälle aufgrund von Strukturellen Fehlern verursacht. Dies sind Fehler, bei denen der Fahrer keine Möglichkeit mehr hatte, durch eigenes Handeln in der kritischen Situation den Unfall zu verhindern. Der Grund dafür liegt darin, dass es entweder zuvor objektiv keine Anzeichen für eine Gefährdung gab oder dass das Anzeichen so unmittelbar kurz vor dem Eintreten der kritischen Situation auftrat, dass der Fahrer selbst bei höchster Aufmerksamkeit und schnellster Reaktion nicht mehr reagieren konnte.

Das bedeutet jedoch keineswegs, dass ein solcher Fahrer für den Unfall nicht verantwortlich wäre! Bei den allermeisten Unfällen beging der Fahrer einen Fehler *im Vorfeld* des Unfalls, der meist darin bestand, dass er seine Geschwindigkeit nicht an die Straßenverhältnisse anpasste. 20 von 23 Fahrern kamen von ihrer Fahrspur ab, fünf davon kollidierten anschließend mit einem Fahrzeug des Gegenverkehrs. Alle diese Fahrer fuhren zum Unfallzeitpunkt mit nicht angepasster Geschwindigkeit. Sieben von ihnen verloren durch Aquaplaning auf regennasser Fahrbahn die Kontrolle über ihr Fahrzeug, fünf bei Glatteis und vier bei Schnee bzw. Schneematsch. Auch wenn die meisten von ihnen aufgrund der Straßenverhältnisse ihre Geschwindigkeit reduziert hatten, lässt sich dennoch im Nachhinein sagen, dass diese immer noch zu schnell war. Bei diesen Unfällen liegt also die Unfallursache einerseits in den äußerst tückischen Straßenverhältnissen und andererseits in einer Fehleinschätzung dieser Umweltgegebenheiten durch die Fahrer. Unfälle aufgrund technischer Defekte (z. B. Reifenplatzer), die ebenfalls in diese Kategorie fallen würden, traten bei der untersuchten Stichprobe nicht auf.

Ein interessanter Unfall aufgrund eines Strukturellen Fehlers ist der im Folgenden geschilderte. Er ereignete sich ebenfalls wegen nicht angepasster Geschwindigkeit, jedoch nicht aufgrund widriger Straßenverhältnisse, sondern aufgrund eines anderen Fehlers:

Fall 249:

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Straße war trocken. Ein 53-jähriger Fahrer fuhr in seinem Lkw mit Auflieger auf der Autobahn. In seinem Lkw hatte er Schweineschinken geladen. Diese hingen an Seilen, an denen je 20 Haken befestigt waren. An jedem dieser Haken hing ein Schinken. Die Seile hingen ca. 1.5 Meter von der Decke herab. Durch diese Aufhängung war die Ladung relativ instabil und der Lkw neigte nach Aussage des Fahrers zum Aufschaukeln.
>
> Als er nach 3.5-stündiger Fahrt an einem Autobahnkreuz die Autobahn verlassen wollte, um auf die andere Autobahn zu wechseln, bremste er auf dem Verzögerungsstreifen von der bisher konstant gefahrenen Geschwindigkeit von 90 km/h auf ca. 50-60 km/h herunter (Schätzung des Fahrers, nicht auf Tacho gesehen) und fuhr in die Rechtskurve der Abfahrt. In der Kurve sah er zur Kontrolle in seinen linken Außenspiegel und bemerkte, wie der Auflieger des Lkw nach links zu kippen begann. Er reagierte mit Gegenlenken (kein Bremsen), was jedoch nichts mehr nützte. Der Lkw kippte um, überschlug sich, und die Schweineschinken wurden dabei auf die Fahrbahn geschleudert.
>
> Der Fahrer sagte, er habe beim Fahren in die Kurve nicht daran gedacht, dass er Schinken geladen hatte, und sei deshalb zu schnell in die Kurve gefahren. Er betonte, dass bei einer anderen Ladung (z. B. Obst in Kisten) eine Geschwindigkeit von 50-60 km/h problemlos möglich gewesen wäre. Bei den von der Decke hängenden Schinken hätte er jedoch mit maximal 30-40 km/h in der Kurve fahren dürfen.

Nach dem Klassifikationsschema von Rasmussen ist dieser Unfall ein Struktureller Fehler, weil der Fahrer im Vorfeld des Unfalls keine warnenden Informationen wahrnehmen konnte, auf die er reagieren hätte können. In dem Moment, als er im Außenspiegel den kippenden Auflieger sah, war es bereits zu spät. Dennoch wurde der Unfall durch einen Fehler des Fahrers verursacht, da dieser im entscheidenden Moment nicht daran dachte, welche Art von Ladung er beförderte, und deswegen zu schnell in die Kurve fuhr. Man könnte diesen Fehler auch als „Modusfehler“ (Norman, 1988) bezeichnen, da für ihn nicht erkennbar war, in welchem Beladungszustand (Modus) sich der Lkw befand. Da es an einem entsprechendem Feedback fehlte, musste der Fahrer bei jedem Fahren in die Kurve selbst aktiv an den Beladungszustand denken und dies bei seiner Geschwindigkeitswahl berücksichtigen.

Zusammenfassend betrachtet ist die entscheidende Ursache für Strukturelle Fehler eine nicht angepasste Geschwindigkeit, meist bei starkem Regen, Eis- oder Schneeglätte. Abhilfe schaffen könnten hier sogenannte „intelligente Reifen“ (siehe Kapitel 2.2.11), d. h. Reifen, in die Sensoren in den Gummi des Reifenprofils eingebettet sind, die über die Reifenverformung sowie die Reibung zwischen Reifen und Fahrbahn den Fahrbahnzustand erkennen. Dadurch könnte der Fahrer vor Glatteis oder Aquaplaning gewarnt werden und es könnten gezielte automatische Bremseingriffe erfolgen (z. B. über ESP).

4.4.9 Fehlerarten in Abhängigkeit vom Alter

Die untersuchten Unfälle wurden hinsichtlich der unterschiedlichen Fehlerarten in Abhängigkeit vom Alter der Fahrer ausgewertet. Es zeigte sich, dass insbesondere jüngeren Fahrern (bis 24 Jahre) andere Fehler unterliefen als mittel alten und älteren.

Tabelle 21: Der Anteil verschiedener Fehlerarten in Abhängigkeit vom Alter. Für die Statistik wurden sowohl Unfallverursacher wie auch Unfallbeteiligte ausgewertet; eine Ausnahme bilden die „Strukturellen Fehler“, für die nur die Verursacher in die Auswertung mit eingingen. Mehrfachnennungen (mehr als ein Fehler pro Fahrer) sind möglich.

	bis 24	**25 bis 59**	**ab 60**	**Gesamt**
Struktureller Fehler	7 (10.1 %)	15 (8.3 %)	1 (3.2 %)	23 (8.2 %)
Informationsfehler	31 (44.9 %)	119 (66.1 %)	23 (74.2 %)	173 (61.8 %)
Diagnosefehler	10 (14.5 %)	9 (5.0 %)	3 (9.7 %)	22 (7.9 %)
Zielsetzungsfehler	5 (7.2 %)	11 (6.1 %)	2 (6.5 %)	18 (6.4 %)
Methodenfehler	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)
Handlungsfehler	13 (18.8 %)	23 (12.8 %)	2 (6.5 %)	38 (13.6 %)
Bedienungsfehler	3 (4.3 %)	3 (1.7 %)	0 (0.0 %)	6 (2.1 %)
gesamt	69 (100.0 %)	180 (100.0 %)	31 (100.0 %)	280 (100.0 %)

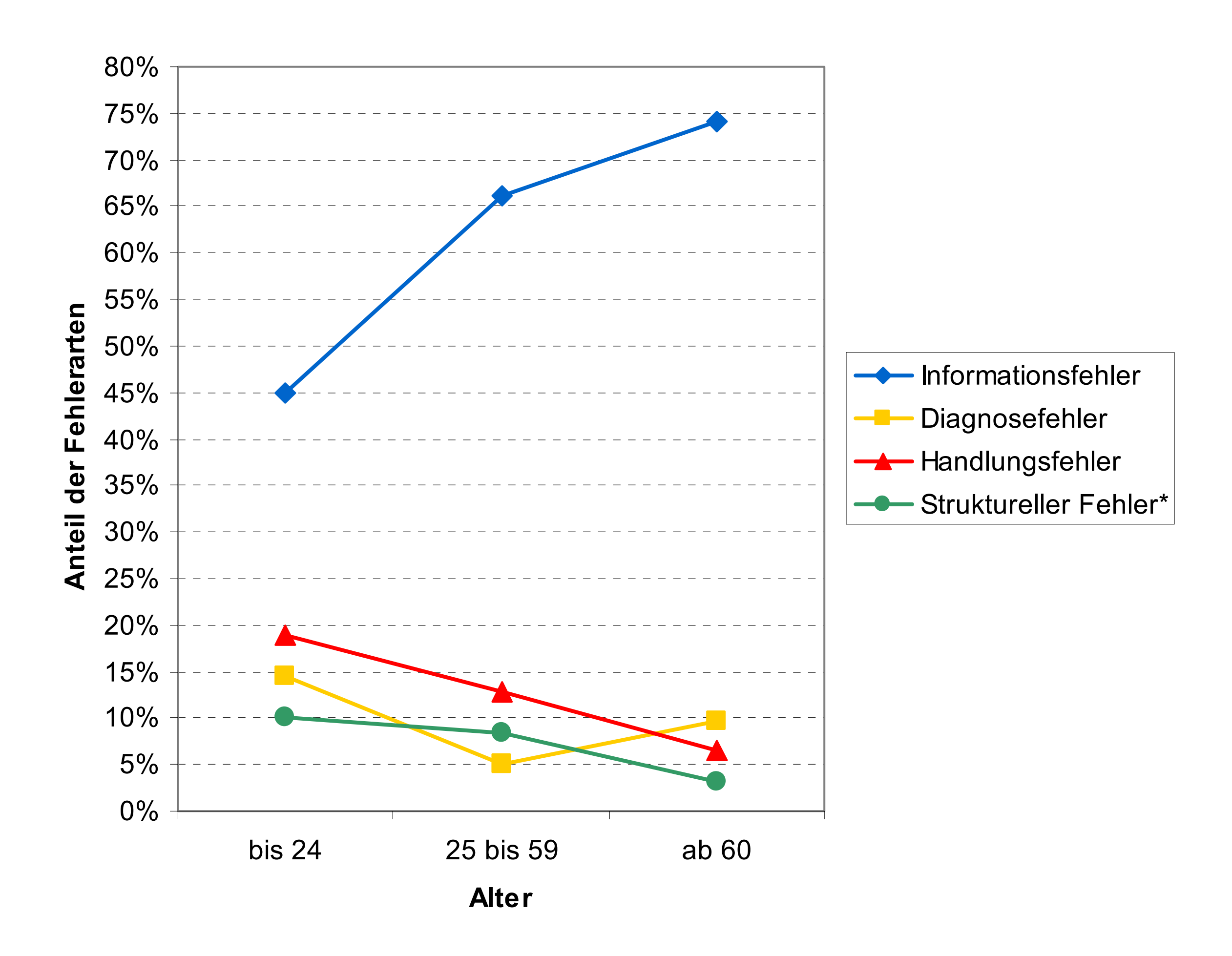


Abbildung 16: Der Anteil verschiedener Fehlerarten in Abhängigkeit vom Alter. Bei allen Altersgruppen überwiegen bei weitem „Informationsfehler“. Bei jungen Fahrern ist der Anteil von Informationsfehlern deutlich geringer, jedoch auf Kosten anderer Fehlerarten. Für die Statistik wurden sowohl Unfallverursacher wie auch Unfallbeteiligte ausgewertet; eine Ausnahme bilden die „Strukturellen Fehler“, für die nur die Verursacher in die Auswertung mit eingingen. Mehrfachnennungen (mehr als ein Fehler pro Fahrer) sind möglich (N=280).

Die mit Abstand häufigsten Unfallursachen sind Informationsfehler, also Unfälle, die dadurch entstanden, dass verkehrsrelevante Information nicht oder zu spät wahrgenommen wurde. Sie machen insgesamt 61.8 % aller Fehler aus. Bei den älteren Fahrern sind dies sogar 74.2 %, bei mittelalten 66.1 %. Bei den jungen Fahrern liegt dieser Anteil deutlich darunter (44.9 %), jedoch zu Lasten anderer Fehler wie Struktureller Fehler, Diagnosefehler und Handlungsfehler. Bei allen anderen Fehlerarten ist zu bedenken, dass die absoluten Fehlerzahlen pro Kategorie nur sehr gering sind und daher keine Interpretation erlauben. Einzelne Chi^2-Tests zur Berechnung des Zusammenhangs zwischen einer bestimmten Fehlerart und der Altersklasse ergaben jedoch nur bei Diagnosefehlern ein signifikantes Ergebnis ($Chi^2(df=2, N=472) = 8.96, p<.05$).

Die relativ hohen Fehlerzahlen junger Fahrer bei Diagnosefehlern und Handlungsfehlern könnten

in erster Linie als Folge geringer Fahrerfahrung interpretiert werden. Aufgrund ihrer geringeren Erfahrung besitzen junge Fahrer in geringerem Ausmaß die Fähigkeit, Verkehrssituationen adäquat einzuschätzen, als dies bei erfahreneren mittelalten Fahrern der Fall ist.

Bei Handlungsfehlern, die meist in einem Verreißen des Lenkrads bestehen, kommt hinzu, dass ihnen die Erfahrung fehlt, ein Fahrzeug in einer kritischen Situation (z. B. Aufschaukeln nach einer starken Lenkbewegung bei hoher Geschwindigkeit) unter Kontrolle zu halten, d. h. es bestehen noch Defizite auf der fertigkeitsbasierten Ebene der Fahrzeugführung. Ein weiterer wichtiger Grund für die Häufung von Handlungsfehlern bei den jüngeren Fahrern ist jedoch, dass auch häufig nicht angepasste Geschwindigkeit als Ursache mit beteiligt war. Die meisten Handlungsfehler ereigneten sich, nachdem der Fahrer versehentlich auf das Bankett abgekommen war und anschließend in Panik das Lenkrad verriss. Nicht angepasste Geschwindigkeit ist jedoch ein häufiger Grund für das Abkommen von der Fahrbahn. Dasselbe gilt für die bei den jungen Fahrern ebenfalls gehäuft auftretenden Strukturellen Fehler, für die ebenfalls nicht angepasste Geschwindigkeit die Hauptursache ist (siehe Kapitel 4.4.8).

Bezüglich des Geschlechts der Fahrer existieren keine Unterschiede bei den begangenen Fehlerarten.

4.5 Ergebnisse der Analyse von Verstößen (nach Reason)

4.5.1 Einfluss von Verstößen auf die Unfallverursachung

Unter den 528 Fahrern der 312 untersuchten Unfälle befanden sich 133 Fahrer, bei denen ein Verstoß zur Unfallentstehung beitrug (zur Definition von Verstößen siehe Kapitel 2.7.2.3). Bei etlichen Fahrern war eine sichere Beurteilung nicht möglich, z. B. weil mit ihnen kein Interview geführt werden konnte – sie sind in der folgenden Tabelle nicht enthalten.

Tabelle 22: Der Einfluss von Verstößen auf die Unfallverursachung (Anzahl der Unfälle: N=232; Anzahl der Fahrer: N=376)

	Ein oder mehr Verstöße	**Kein Verstoß**	**Gesamt**
Verursacher	109 (82.0 %)	123 (50.6 %)	232 (61.7 %)
Beteiligte	24 (18.0 %)	120 (49.4 %)	144 (38.3 %)
Gesamt	133 (100.0 %)	243 (100.0 %)	376 (100.0 %)

Insgesamt beging gut ein Drittel der Fahrer einen oder mehrere Verstöße (35.4 %). Die meisten

Verstöße wurden von den Unfallverursachern begangen. Unter den Fahrern, die einen oder mehrere Verstöße gleichzeitig begingen, befanden sich 82.0 % Unfallverursacher und nur 18.0 % Unfallbeteiligte; von den Fahrern, die sich an Verkehrsvorschriften halten, sind lediglich die Hälfte Unfallverursacher. Der Unterschied ist höchst signifikant ($Chi^2(df=1, N=376) = 35.72, p<.001$). Das Relative Risiko beträgt 1.62, d. h. das Begehen eines Verstoßes erhöht die Wahrscheinlichkeit, einen Unfall zu verursachen, um rund 60 % (RR=1.62, 95%-CI [1.40; 1.88]).

Einige Fahrer begingen mehrere Verstöße gleichzeitig. Von den 133 Fahrern, die einen Verstoß begingen, verstießen 98 Fahrer (73.7 %) gegen eine einzige Vorschrift, 31 Fahrer (23.3 %) gegen zwei Vorschriften und vier Fahrer (3.0 %) gegen drei.

4.5.2 Arten von Verstößen

Die Auswertung nach unterschiedlichen Arten der begangenen Verstöße ergab folgendes Bild:

Tabelle 23: Häufigkeiten der verschieden Arten an Verstößen (Anzahl der Unfälle: N=232; Anzahl der Fahrer: N=376)

Art des Verstoßes	**Anzahl**	**Prozent aller Verstöße**
Fahren trotz Alkoholisierung von über 0.5 Promille (BAK)	25	14.5 %
Fahren trotz wahrgenommener Übermüdung	9	5.2 %
Missachten von Richtungsgebot-Schild	2	1.2 %
Missachten von Vorfahrt-gewähren-Schild	6	3.5 %
Missachten von Stoppschild	5	2.9 %
Überholen im Überholverbot	2	1.2 %
Zu geringer Sicherheitsabstand	27	15.7 %
Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit bzw. sehr schnelles, andere gefährdendes Fahren (z. B. auf Autobahnen)	80	46.5 %
Sonstige Verstöße	16	9.3 %
Gesamt	172	100.0 %

Wie die obige Tabelle zeigt, waren die häufigsten Verstöße bei den untersuchten Unfällen alkoholisiertes Fahren, ein zu geringer Sicherheitsabstand und eine zu hohe Geschwindigkeit. Nicht erfasst wurden Missachtungen der StVO, die keinen direkten Einfluss auf die Unfallverursachung haben (z. B. Fahren ohne gültige Fahrerlaubnis, im Auto nicht angeschallt sein), da sie für die hier untersuchte Fragestellung nicht relevant sind.

Als Verstoß wurde Alkoholisierung am Steuer dann gewertet, wenn der durch die Polizei festgestellte Promillewert (Blutalkoholkonzentration, BAK) über 0.5 Promille lag, d. h. über dem (in der Bundesrepublik Deutschland) gesetzlich erlaubten Höchstwert. Näheres zu alkoholisiertem Fahren siehe in Kapitel 4.6.1.1, „Einfluss von Alkoholisierung“.

Bei der Verstoßart „Fahren trotz wahrgenommener Übermüdung“ sind nur diejenigen Fahrer erfasst, die ihre Müdigkeit bemerkt hatten (und dies im Interview zugaben!), aber dennoch ihre Fahrt

fortsetzten. Bei Fahrern, die offensichtlich einen Unfall durch Einschlafen am Steuer hatten, mit denen jedoch kein Interview geführt werden konnte (da sie die Teilnahme verweigerten oder durch den Unfall getötet wurden), ist diesbezüglich keine Aussage möglich. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Dunkelziffer dieser Verstoßart deutlich höher ist. Näheres dazu siehe Kapitel 4.7.8, „Potenzial einer Aufmerksamkeitskontrolle“.

Unfälle durch Missachten von Stoppschildern und Vorfahrt-gewähren-Schildern liefen in der Regel so ab, dass der unfallverursachende Fahrer ungebremst oder nur mit etwas verzögerter Geschwindigkeit in eine Kreuzung einfuhr, ohne auf den vorfahrtsberechtigten Verkehr zu achten. Bei Unfällen an Stoppschildern wurde es auch dann als Verstoß gewertet, wenn der Fahrer mit geringerer Geschwindigkeit in eine Kreuzung einfuhr, ohne vorschriftsgemäß an der Haltlinie anzuhalten.

Eine besondere Betrachtung ist für die Verstöße „zu geringer Sicherheitsabstand“ und „Überhöhte Geschwindigkeit“ notwendig. Bei diesen Verstößen steht außer Frage, dass es sich um Vergehen im Sinne der StVO handelt, die Frage ist jedoch, inwieweit man hier von einer absichtlichen Handlung des Fahrers ausgehen kann. Häufig fährt ein Fahrer zu schnell, ohne dies absichtlich zu tun, z. B. aufgrund einer Unachtsamkeit – in diesem Fall wäre dies ein Fehler. Auf der anderen Seite gibt es Autofahrer, die häufig mit überhöhter Geschwindigkeit fahren, die dies während des Fahrens auch bemerken, dies jedoch bewusst in Kauf nehmen und sich nicht um eine Korrektur der Geschwindigkeit bemühen und deren einziges Bestreben darin besteht, sich bei einer Geschwindigkeitsüberschreitung nicht erwischen zu lassen.

Die Grenzen zwischen diesen beiden Extremen sind fließend. Auch wäre es naiv, Autofahrer aufgrund ihrer Persönlichkeitsstruktur der einen oder anderen Gruppe zuteilen zu wollen, da sich jeder Autofahrer situationsabhängig mal auf die eine und mal auf die andere Art und Weise verhält. Ähnliches gilt für einen geringen Sicherheitsabstand, einen Verstoß, den viele Autofahrer routinemäßig begehen. Auch hier ist es sehr schwierig, zuverlässig zu beurteilen, inwieweit ein intentionales Handeln vorlag.

Aus diesem Grund wird hier der Vorschlag gemacht, das Modell der gefährdenden Verhaltensweisen von Reason (1990) für die Anwendung im Bereich des Straßenverkehrs in einem Aspekt zu differenzieren und eine Unterkategorie innerhalb der Verstöße einzuführen, nämlich die der *gefährdenden Routine*. Diese Kategorie soll grundsätzlich sämtliche Fälle von mangelndem Sicherheitsabstand und überhöhter Geschwindigkeit umfassen. Damit werden die häufigen gewohnheitsmäßigen Routineverstöße, bei denen die Frage der Intentionalität in der Praxis der Verkehrsunfallforschung nicht eindeutig zu klären ist, von den Ausnahmeverstößen (z. B. Missachtung von Gebots- oder Verbotsschildern) getrennt.

Damit soll jedoch keineswegs der Eindruck entstehen, eine gefährdende Routine sei „weniger schlimm“, nur weil sie bei vielen Menschen häufig auftritt und durch die Gewohnheit oftmals keiner

bewussten Kontrolle mehr unterliegt. Überhöhte Geschwindigkeit war die häufigste Mitursache von Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn (21.8 % aller Unfälle) und Unfällen im Längsverkehr (29.5 % aller Unfälle), ein mangelnder Sicherheitsabstand spielte bei vielen Auffahrunfällen (22 von 62 Auffahrunfällen, 35.5 %) eine Rolle.

Tabelle 24: Der Einfluss von Verstößen auf die Unfallverursachung, differenziert nach *Ausnahmeverstößen* und *gefährdender Routine* (Anzahl der Unfälle: N=232; Anzahl der Fahrer: N=376);

	Verstöße		**Kein Verstoß**	**Fahrer gesamt**
	Gefährdende Routine (= Überhöhte Geschwindigkeit oder mangelnder Sicherheits-abstand)	Ausnahme-verstöße (= alle sonstigen Verstöße)		
Verursacher	79 (79.8 %)	55 (91.7 %)	123 (50.6 %)	232 (61.7 %)
Beteiligte	20 (20.2 %)	5 (8.3 %)	120 (49.4 %)	144 (38.3 %)
Gesamt	99 (100.0 %)	60 (100.0 %)	243 (100.0 %)	376 (100.0 %)

Anmerkung: Doppelnennungen (mehr als ein Eintrag pro Zeile) sind möglich, d. h. einige Fahrer begingen sowohl ein oder mehrere Routineverstöße wie auch ein oder mehrere Ausnahmeverstöße; in der Spalte „Fahrer gesamt“ sind diese Doppelnennungen jedoch *nicht* aufgelistet. Innerhalb jeder Spalte sind dagegen keine Mehrfachnennungen möglich, d. h. ein Fahrer, der z. B. zu schnell fuhr und zugleich einen zu geringen Sicherheitsabstand einhielt, wurde nur einmal gezählt.

Rund 80 % der Fahrer, die eine gefährdende Routine begingen und rund 90 % der Fahrer, die einen Ausnahmeverstoß begingen, waren auch die Verursacher des Unfalls. Zwei einzelne Chi^2-Tests, mit denen der Zusammenhang zwischen gefährdender Routine bzw. Ausnahmeverstößen und der Unfallverursachung überprüft wurde, waren höchst signifikant. Gefährdende Routine: $Chi^2(df=1, N=376) = 17.92, p<.001$; Ausnahmeverstoß: $Chi^2(df=1, N=376) = 26.56, p<.001$.

Fahrer, die eine gefährdende Routine begingen, d. h. mit nicht angepasster Geschwindigkeit fuhren oder einen zu geringen Sicherheitsabstand einhielten, besaßen ein ca. 40 % höheres Risiko, einen Unfall zu verursachen (RR=1.43, 95%-CI [1.24; 1.65]), als Fahrer, die diese Verhaltensweisen nicht zeigten. Bei Fahrern, die einen Ausnahmeverstoß begingen, ist das Unfallrisiko noch größer: Es liegt 60 % höher als das Unfallrisiko derer, die keinen Ausnahmeverstoß begingen (RR=1.62, 95%-CI [1.43; 1.83]).

4.5.3 Einfluss des Alters auf die Unfallverursachung durch Verstöße

Bei der Häufigkeit von Verstößen besteht ein deutlicher Einfluss durch das Alter der Fahrer. Je jünger der Fahrer, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass er aufgrund eines Verstoßes einen Unfall verursachte ($Chi^2(df=2, N=225) = 6.57, p<.05$). Eine Differenzierung nach den beiden Verstoßarten zeigt, dass der signifikante Unterschied auf den Effekt der gefährdenden Routine zurückzuführen ist (siehe Abbildung 17).

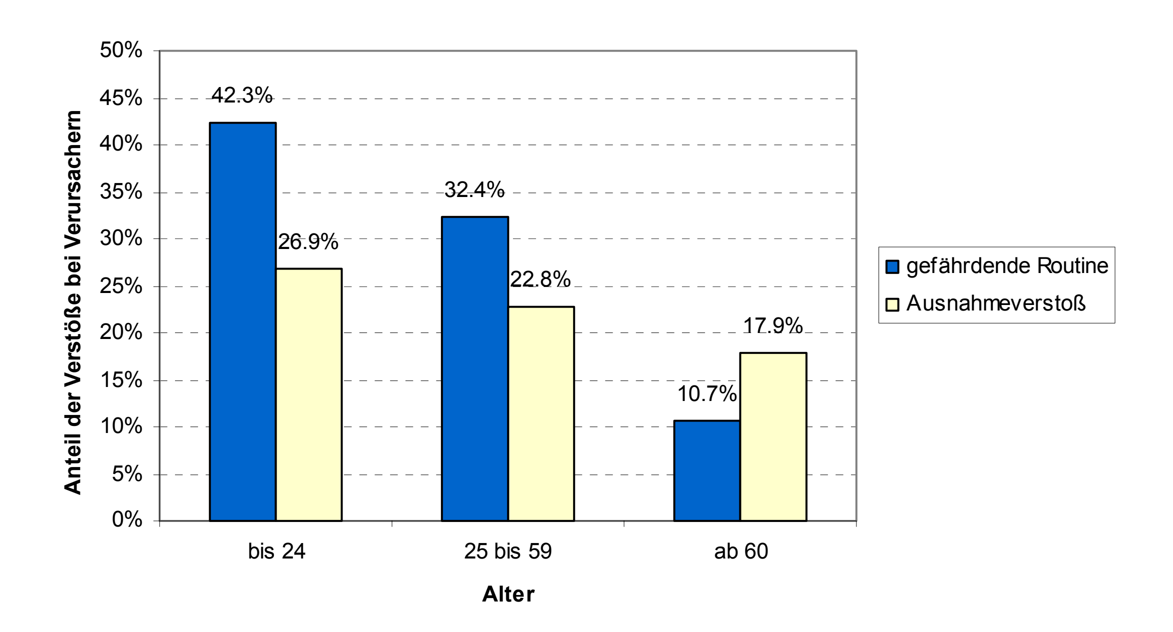


Abbildung 17: Der Anteil der Unfallverursacher, die mindestens einen Verstoß begangen haben, differenziert nach gefährdender Routine und Ausnahmeverstößen in Abhängigkeit vom Alter der Fahrer. Die Grafik zeigt: Mit steigendem Alter sinkt die Zahl beider Verstoßarten.

Junge Fahrer begingen viermal so häufig wie ältere Fahrer eine gefährdende Routine. Der Unterschied ist signifikant ($Chi^2(df=2, N=225) = 8.38, p<.05$). Bei Ausnahmeverstößen geht die Tendenz in dieselbe Richtung, der Unterschied ist jedoch nicht signifikant ($Chi^2(df=2, N=225) = 0.87$, n.s.).

4.5.4 Einfluss des Geschlechts auf die Unfallverursachung durch Verstöße

Wie die folgende Tabelle zeigt, treten bei Männern häufiger Verstöße auf als bei Frauen: Bei rund jedem zweiten Mann trug ein Verstoß zur Unfallverursachung bei, jedoch nur bei jeder dritten Frau ($Chi^2(df=1, N=231) = 6.71, p<.01$). Bei einem Mann ist die Wahrscheinlichkeit, dass er einen Unfall aufgrund eines Verstoßes verursacht, 53 % höher als bei einer Frau (RR=1.53, 95%-CI [1.08; 2.18])

Tabelle 25: Der Einfluss des Geschlechts des Unfallverursachers auf die Häufigkeit von Verstößen

	Männer	**Frauen**	**Gesamt**
Ein oder mehr Verstöße	83 (52.5 %)	25 (34.2 %)	108 (46.8 %)
Kein Verstoß	75 (47.5 %)	48 (65.8 %)	123 (53.2 %)
Gesamt	158 (100.0 %)	73 (100.0 %)	231 (100.0 %)

Dieser hoch signifikante Unterschied ist zurückzuführen auf die gefährdende Routine, wie folgende Abbildung zeigt:

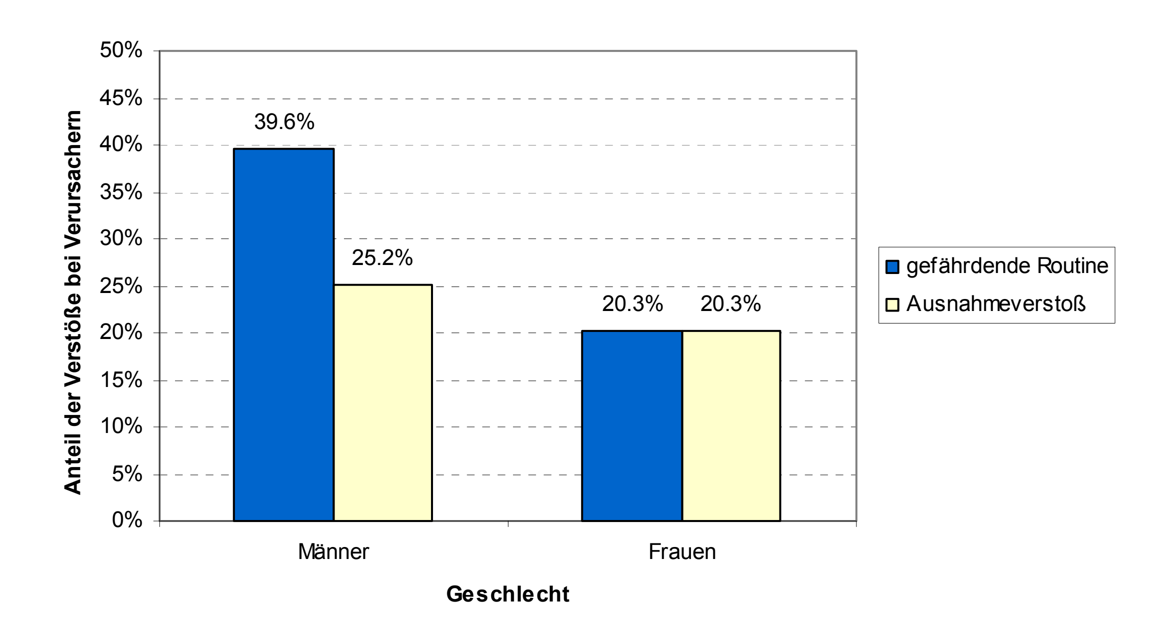


Abbildung 18: Der Anteil der Unfallverursacher, die mindestens einen Verstoß begangen haben, differenziert nach gefährdender Routine und Ausnahmeverstößen in Abhängigkeit vom Geschlecht der Fahrer. Die Grafik zeigt: Männliche Unfallverursacher begehen doppelt so häufig wie weibliche eine gefährdende Routine, d. h. sie fahren häufiger zu schnell und unterschreiten häufiger den Sicherheitsabstand (N=231).

Ein Viertel der männlichen und ein Fünftel der weiblichen Unfallverursacher begingen einen Ausnahmeverstoß. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant (Chi^2(df=1, N=231) = 0.67, n.s.). Bei der gefährdenden Routine hingegen liegt der Anteil der Männer mit rund 40 % hoch signifikant doppelt so hoch wie bei den Frauen (20 %) (Chi^2(df=1, N=231) = 8.94, p<.01.). Der Relative Risiko bei gefährdender Routine beträgt für die unabhängige Variable Geschlecht 1.96 (RR=1.96, 95%-CI [1.20; 3.19]).

4.6 Einflussfaktoren auf die Unfallverursachung

In aller Regel entstanden die untersuchten Verkehrsunfälle nicht nur aufgrund einer einzigen Ursache. Fast immer kamen mehrere einzelne Ursachen zusammen, die in ihrer *Gesamtheit* zu einem Unfall führten. Aus diesem Grund werden im Folgenden diese Einzelursachen als *Einflussfaktoren* bezeichnet, um bereits durch die Begriffswahl die Multikausalität der Unfallentstehung zu verdeutlichen und der insbesondere im Alltagsdenken weit verbreiteten Auffassung entgegenzuwirken, ein Unfall habe lediglich eine einzige Ursache.

4.6.1 Häufige Haupteinflussfaktoren

Bei der Auswertung der Daten stellten sich drei Einflussfaktoren als besonders bedeutend heraus: Alkoholisierung, nicht angepasste Geschwindigkeit und mangelnder Sicherheitsabstand. Um vor lauter Einzelergebnissen nicht den Blick für das Wesentliche zu verlieren, werden diese drei Faktoren gesondert behandelt und der Darstellung der übrigen Ergebnisse vorangestellt.

4.6.1.1 Einfluss von Alkoholisierung

Bei den untersuchten 312 Unfällen waren 27 von 528 Fahrern nachweislich alkoholisiert, d. h. ihr Blutalkoholwert wurde von der Polizei durch einen Alkoholtest positiv getestet. 24 der alkoholisierten Fahrer (88.9 %) waren Verursacher eines Unfalls und drei Fahrer waren Unfallbeteiligte (Chi^2(df=1, N=528) = 10.45, p<.001). Das Relative Risiko beträgt 1.55 (RR=1.55, 95%-CI [1.37; 1.80]). Die dazugehörige Kreuztabelle findet sich in Kapitel 3.5.6.4. (Tabelle 15) im Methodenteil, wo sie bereits als Beispiel für die Berechnung des Relativen Risikos diente.

Das Ausmaß der gemessenen Alkoholisierung reichte von 0.2 Promille BAK (= Blutalkoholkonzentration) bis zu 2.19 Promille. Der Mittelwert beträgt 1.17 Promille (SD= 0.56). 14 Fahrer der 27 Alkoholisierten (51.9 %) hatten einen Promillewert von über 1.1 und waren damit per Definition (Urteil des Bundesgerichtshofs) *absolut fahruntüchtig* (BGH, Beschluss vom 28.06.1990 - 4 StR 297/90). Lediglich drei Alkoholisierte lagen unterhalb der 0.5-Promille-Grenze, die übrigen 24 (88.9 %) lagen darüber.

Zu den drei Unfallbeteiligten, die von der Polizei nicht als die Verursacher geführt wurden, muss gesagt werden, dass lediglich einer davon (0.42 Promille) an der Unfallverursachung keinen Anteil trägt. Die beiden anderen (0.98 und 1.57 Promille) tragen eine erhebliche Mitverantwortung am Unfall. Wären sie nüchtern gewesen, hätten sie ohne Probleme auf den Fehler ihres Unfallgegners adäquat reagieren und den Unfall dadurch vermeiden können.

In Wirklichkeit dürfte der Anteil der alkoholisierten Fahrer noch höher liegen, da die Polizei am Unfallort in der Regel nur dann einen Alkoholtest durchführt, wenn ein Fahrer Symptome einer Alkoholisierung aufweist. Zahlreiche v. a. gering Alkoholisierte dürften auf diese Weise nicht entdeckt worden sein. Alkohol kann jedoch auch bereits in geringerer Dosierung (ab 0.3 Promille) insbesondere bei nicht alkoholgewohnten Personen zu einer Beeinträchtigung der Fahrtüchtigkeit führen (Treeck, 2002).

Dass über die Hälfte der alkoholisierten Fahrer mehr als 1.1 Promille Alkohol im Blut hatte, lässt darauf schließen, dass viele Fahrer dieser Personengruppe offensichtlich Alkoholiker sind, da sie mit Promillewerten, mit denen eine alkoholungewohnte Person kaum mehr in der Lage ist, ihr Auto aufzusperren, noch ihr Fahrzeug steuern konnten. Ein solcher Fahrer muss gelernt haben, mit alkoholbedingten Ausfällen des Körpers umzugehen, d. h. er muss gelernt haben, wie er unter Alkoholeinfluss reagiert und wie er Ausfallerscheinungen kompensieren kann. Für diese Lernprozesse ist jedoch erhebliches Training notwendig. Dies lässt den Schluss zu, dass ein solcher Fahrer über einen längeren Zeitraum regelmäßig große Mengen an Alkohol zu sich genommen und unter Alkoholeinfluss regelmäßig das Autofahren trainiert hat. Dadurch nahm er häufig in einem solchen Zustand am Straßenverkehr teil und stellte für sich und andere Verkehrsteilnehmer eine erhebliche Gefährdung dar.

Der Anteil von 5.1 % alkoholisierten Fahrern (27 von 528 Fahrern) liegt noch etwas höher als in den offiziellen Unfallstatistiken; zum Vergleich: 3.4 % der verunfallten Fahrzeugführer waren laut Bundesamt für Statistik alkoholisiert (Bundesamt für Statistik, 2002, S. 43). Bei 8.7 % der hier untersuchten Unfälle spielte Alkohol am Steuer eine unfallverursachende Rolle. Bei rund 4.5 % aller Unfälle war der Fahrer aufgrund seiner mehr als 1.1 Promille so extrem alkoholisiert, dass sich die Frage nach weiteren Ursachen eigentlich erübrigt.

Für die übrigen Unfälle ist eine geringere Alkoholisierung v. a. auch deswegen von großen Interesse, weil sie sich negativ auf zahlreiche Fähigkeiten und Fertigkeiten auswirkt, die zum Steuern eines Fahrzeugs notwendig sind, wie z. B. Sehfähigkeit (Einengung des Gesichtsfeldes, Sehschärfe, Blendempfindlichkeit, Rotlichtschwäche, Raumwahrnehmung), kognitive Fähigkeiten (Einschätzen von Entfernungen und Geschwindigkeiten, Orientierungsvermögen, Konzentrationsvermögen, Überschätzung der eigenen Fähigkeiten), Risikowahrnehmung (Enthemmung, Risikoakzeptanz), motorische Fertigkeiten (Bewegungskoordination) und andere (Smith & Popham, 1951).

Alkoholisierten Fahrern unterliefen dadurch auch häufig Fehler, die nüchternen Fahrern seltener passierten, da nüchterne Fahrer über ein größeres Leistungsvermögen verfügen (und dadurch z. B. parallele Tätigkeiten besser bewältigen können) sowie über die Kompetenz, kritische Situationen durch sicherheitsherstellendes Verhalten rechtzeitig zu entschärfen. Alkoholisierung ist damit ein Faktor, der die Auftretenswahrscheinlichkeit anderer Einflussfaktoren deutlich erhöht.

Bei 74.1 % der alkoholisierten Unfallverursacher (20 von 27) lag die Unfallursache darin, dass der

Fahrer von der Fahrspur abkam; die übrigen 25.9 % verteilen sich auf andere Unfallarten. Aus diesem Grund kommt diesen Alkohol-Unfällen eine wichtige Bedeutung bei der Diskussion der Frage zu, inwieweit Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn durch ein Spurassistenzsystem (*Lane Departure Warning*) verhindert werden können (siehe dazu Kapitel 4.7.7, „Empfehlungen für die Gestaltung von *Lane Departure Warning*“).

Männliche Unfallverursacher waren etwa doppelt so häufig alkoholisiert wie weibliche (9.1 % vs. 4.9 %). Aufgrund der insgesamt geringen absoluten Zahlen an Alkoholisierten ist dieser Unterschied jedoch nicht signifikant.

Tabelle 26: Vergleich der Häufigkeit der vier Haupteinflussfaktoren in Abhängigkeit vom Alter des *Unfallverursachers*. Mehrfachnennungen (mehr als ein Einflussfaktor pro Fahrer sind möglich).

	bis 24	**25 bis 59**	**ab 60**	**Gesamt**
Alkoholisierung	7 (10.4 %)	15 (87.7 %)	2 (5.6 %)	24 (8.1 %)
Nicht angepasste Geschwindigkeit*	31 (72.1 %)	66 (56.9 %)	5 (35.7 %)	102 (59.0 %)
Mangelnder Sicherheitsabstand	3 (5.8 %)	13 (9.0 %)	0 (0.0 %)	16 (7.1 %)

* Nicht angepasste Geschwindigkeit enthält die Kategorien „zu schnell gefahren“ und „viel zu schnell gefahren“

Der Unterschied bei nicht angepasster Geschwindigkeit ist signifikant ($p<.05$), der bei den anderen beiden Variablen nicht.

Tabelle 27: Vergleich der Häufigkeit der vier Haupteinflussfaktoren in Abhängigkeit vom Geschlecht des *Unfallverursachers*. Mehrfachnennungen (mehr als ein Einflussfaktor pro Fahrer sind möglich).

	Männer	**Frauen**	**Gesamt**
Alkoholisierung	19 (9.1 %)	5 (4.9 %)	24 (7.7 %)
Nicht angepasste Geschwindigkeit*	77 (62.6 %)	30 (53.6 %)	107 (59.8 %)
Mangelnder Sicherheitsabstand	17 (10.7 %)	2 (2.7 %)	19 (8.2 %)

* Nicht angepasste Geschwindigkeit enthält die Kategorien „zu schnell gefahren“ und „viel zu schnell gefahren“

Der Unterschied bei mangelndem Sicherheitsabstand ist signifikant ($p<.05$), der bei den anderen beiden Variablen nicht.

4.6.1.2 Einfluss von nicht angepasster Geschwindigkeit

Als eine der häufigsten Unfallursachen überhaupt gilt nicht angepasste Geschwindigkeit. Laut Bundesamt für Statistik (2002, S. 43) wurde sie 13 % aller unfallbeteiligten Fahrer (inklusive Lkw-Fahrer) vorgeworfen. Für die vorliegende Arbeit wurden zur Beurteilung der Frage, inwieweit eine gefahrene Geschwindigkeit angemessen war, sämtliche verfügbaren Informationen ausgewertet: Zur Ermittlung der Geschwindigkeit Aussagen der Fahrer und Unfallgegner, die Beurteilung der Polizei, Messwerte von Fahrtenschreibern (bei Lkw) sowie Unfallrekonstruktionen von technischen Mitarbeitern und unabhängigen Gutachtern und zur Beurteilung der Angemessenheit Sichtverhältnisse (Helligkeit, Witterung), Fahrbahnverhältnisse (Glätte), Straßenverlauf (Kurvigkeit, Übersichtlichkeit) und Verkehrsaufkommen. Unter Berücksichtigung all dieser Aspekte wurde hinsichtlich der Angemessenheit der Geschwindigkeit auf einer fünfstufigen Skala (viel zu langsam – zu langsam – genau richtig – zu schnell – viel zu schnell) eine Gesamtbeurteilung getroffen.

Wo eine Beurteilung nicht sicher möglich war, wurde darauf verzichtet, selbst wenn der Verdacht nahe lag, dass der Fahrer zum Unfallzeitpunkt zu schnell fuhr. Hinzu kommen zahlreiche Unfälle, bei denen eine Kategorisierung der Geschwindigkeit gar keinen Sinn macht, z. B. bei Unfällen durch Vorfahrtsverletzung, wenn der Unfallverursacher, nachdem er bereits angehalten hat, den Unfallgegner übersieht und deswegen z. B. in eine Straße einbiegt. In diesem Fall ist nicht die gefahrene Geschwindigkeit unfallrelevant, sondern der Umstand, dass der Fahrer *überhaupt* gefahren ist.

Da es sich bei der Beurteilung um ein Gesamturteil handelt, das auf zahlreichen Aspekten basiert, ist es nicht möglich anzugeben, ab welcher Geschwindigkeitsdifferenz zur Sollgeschwindigkeit oder gar zur zulässigen Höchstgeschwindigkeit eine Kategorisierung erfolgte. Einige Beispiele zur Erläuterung:

Gab ein Fahrer zu oder stellte sich bei einer technischen Rekonstruktion heraus, dass er vor dem Unfall ca. 10 bis 15 km/h über der zulässigen Höchstgeschwindigkeit lag (z. B. 65 km/h innerorts oder 115 auf der Landstraße), wurde er als „zu schnell" klassifiziert; bei Geschwindigkeitsdifferenzen von mehr als 20 km/h als „viel zu schnell" (auf der Autobahn ab einer Geschwindigkeit von mehr als 40 km/h über der Richtgeschwindigkeit von 130 km/h, d. h. mehr als 170 km/h).

Kamen jedoch Faktoren (Nässe, Nebel, Kurvigkeit, Unübersichtlichkeit usw.) hinzu, die eine stärkere Reduzierung der Geschwindigkeit (auch deutlich unter die maximal zulässige Geschwindigkeit) notwendig gemacht hätten, wurde die Einstufung entsprechend strenger vorgenommen. So ereigneten sich beispielsweise etliche Unfälle in starken Kurven auf Landstraßen, an denen es keine

zusätzliche Geschwindigkeitsbeschränkung gab, an denen jedoch die generellen 100 km/h auf Landstraßen viel zu schnell sind. Bei Unfällen aufgrund von Aquaplaning, Schnee- oder Eisglätte konnte es sogar sein, dass der Fahrer seine Geschwindigkeit stark reduziert hatte und deutlich langsamer als die zulässige Höchstgeschwindigkeit fuhr, jedoch für die Straßenverhältnisse immer noch zu schnell.

Tabelle 28: Der Einfluss von nicht angepasster Geschwindigkeit auf die Unfallverursachung

	Viel zu schnell gefahren	**Zu schnell gefahren**	**Sonstige geringere Geschwindigkeiten**	**Gesamt**
Verursacher	52 (83.9 %)	56 (86.2 %)	72 (45.9 %)	180 (63.4 %)
Beteiligte	10 (16.1 %)	9 (13.8 %)	85 (54.1 %)	104 (36.6 %)
Gesamt	62 (100.0 %)	65 (100.0 %)	157 (100.0 %)	284 (100.0 %)

Da sich für die Kategorien „viel zu schnell gefahren“ und „zu schnell gefahren“ die Zahlen kaum unterschieden, wurde nachträglich zur Berechnung des Relativen Risikos eine neue dichotome Variable mit den Ausprägungen „zu schnell gefahren“ und „nicht zu schnell gefahren“ eingeführt.

Die Auswertung zeigte: Fahrer, die vor dem Unfall mit nicht angepasster zu schneller Geschwindigkeit fuhren, verursachten weitaus mehr Unfälle als Fahrer, die nicht zu schnell fuhren (Chi^2(df=1, N=284) = 46.43, p<.001). Ihr Unfallrisiko war um 85 % erhöht (RR=1.85, 95%-CI [1.54; 2.23].

Von Bedeutung ist auch der Unfalltyp von Fahrern, die zu schnell fuhren: Von den 108 Unfallverursachern, die zu schnell fuhren, hatten 46 (42.6 %) einen Alleinunfall, d. h. sie kamen ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer von der Fahrbahn ab. Zum Vergleich: Der Anteil der Fahrunfälle an allen Unfällen liegt bei 21.8 %).

Aufgrund dieses hohen Anteils an Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn ist nicht angepasste Geschwindigkeit ein wichtiger Aspekt, der unbedingt bei der Diskussion um den Nutzen eines Spurassistenzsystems berücksichtigt werden muss (siehe daher auch Kapitel 4.7.6, „Potenzial von Lane Departure Warning“ und Kapitel 4.7.7, „Empfehlungen für die Gestaltung von Lane Departure Warning“).

Das konkret gefahrene Tempo bei nicht angepasster Geschwindigkeit ist je nach Unfall sehr unterschiedlich. Es reicht von einer gemäßigten, jedoch immer noch zu schnellen Fahrweise auf winterglatter Fahrbahn bis hin zu extrem fahrlässiger und rücksichtsloser Raserei. So lag beispielsweise die höchste nachgewiesene Geschwindigkeit bei 240 bis 245 km/h (Ergebnis eines unabhängigen Gutachtens). Bei diesem Unfall fuhr eine Fahrerin mit einem Audi RS6 auf der rechten Spur einer Autobahn und fuhr ungebremst auf einen mit 110 km/h fahrenden Klein-Lkw auf – der Fahrer des

Klein-Lkw wurde dabei getötet.

Um diese Zahlen mit der offiziellen Unfallstatistik zu vergleichen, muss man die Zahl der Fahrer, die zu schnell fuhren (unabhängig von der Unfallverursachung), an der Gesamtzahl aller Fahrer relativieren. Bei den vorliegenden Daten fuhren 127 Fahrer zu schnell; relativiert man diese Zahl der Fahrer, bei denen eine sichere Aussage zur Geschwindigkeit möglich und sinnvoll ist (siehe Anmerkungen oben!), d. h. 284 Fahrern, erhält man einen Anteil von 44.7 % der Fahrer, die vor dem Unfall zu schnell fuhren. Relativiert man die 127 Fahrer an der Gesamtzahl aller für diese Studie erfassten 528 Fahrer, erhält man einen Anteil von 24.1 %. Auch dies ist deutlich mehr als in der „offiziellen" Unfallstatistik des Statistischen Bundesamtes (2002, S. 43) (13 %). Dies dürfte mehrere Gründe haben:

Zum einen wurden für die vorliegende Untersuchung schwerere Unfälle (mit Personenschaden oder Airbagauslösung) erfasst. Die Unfallschwere korreliert jedoch positiv mit den gefahrenen Geschwindigkeiten zum Unfallzeitpunkt. Zum anderen basiert die Statistik des Bundesamtes auf den Angaben der Polizisten, die einen Unfall aufnehmen. Diese handhaben jedoch die Klassifizierung von Unfallursachen sehr unterschiedlich und sind häufig aufgrund der unklaren Sachlage am Unfallort auf Mutmaßungen angewiesen. Aus diesem Grund wird durch die Polizei meist nur dann ein Unfall als Unfall aufgrund nicht angepasster Geschwindigkeit eingestuft, wenn die Indizien dafür eindeutig sind oder wenn ein verunfallter Fahrer dies selbst zugibt. Dadurch werden zahlreiche Unfälle, bei denen nicht angepasste Geschwindigkeit als eine Unfallursache mit beteiligt ist, nicht als solche erkannt.

Männliche Unfallverursacher fuhren häufiger als weibliche zu schnell (62.6 % vs. 53.6 %), der Unterschied ist jedoch nicht signifikant. Das Alter der Unfallverursacher hat hingegen einen großen und signifikanten Einfluss auf nicht angepasste Geschwindigkeit: Von den jungen Unfallverursachern fuhren 72.1 % vor dem Unfall zu schnell – von den älteren waren es hingegen nur halb so viele (35.7 %; siehe auch Tabelle 26).

Zuletzt soll nicht unerwähnt bleiben, dass eine nichtangepasste Geschwindigkeit nicht zwangsläufig in einer zu hohen Geschwindigkeit bestehen muss, sondern manchmal auch in einer zu niedrigen bestehen kann. So wurden zehn Unfälle dadurch mitverursacht, dass ein Fahrer zu langsam fuhr. In der Hälfte dieser Fälle ereignete sich der Unfall dadurch, dass ein Fahrer auf der Autobahn mit geringer Geschwindigkeit auf die Überholspur wechselte (teilweise unmittelbar nach dem Auffahren auf die Autobahn), wodurch ein von hinten kommender Verkehrsteilnehmer auffuhr. Um jedoch die Ausdrucksweise nicht unnötig zu verkomplizieren, wird in dieser Arbeit der Begriff „nichtangepasste Geschwindigkeit" im Sinne einer für die Verkehrssituation *zu schnellen* Fahrweise verwendet.

4.6.1.3 Einfluss von mangelndem Sicherheitsabstand

In der offiziellen Unfallstatistik gilt mangelnder Sicherheitsabstand als eine der Hauptursachen von Verkehrsunfällen. Laut Bundesamt für Statistik (2002, S. 42) spielte dies bei 8 % aller unfallbeteiligten Fahrer (bzw. 9 % aller Pkw-Fahrer) für die Unfallentstehung eine Rolle. Bei den vorliegenden Daten waren dies 7.1 % aller in einen Unfall verwickelten Fahrer (bzw. 7.0 % aller Pkw-Fahrer).

Die Unfallart, die durch geringen Sicherheitsabstand begünstigt wird, ist der Auffahrunfall. Auffahrunfälle ereigneten sich insgesamt bei 71 von 312 Unfällen (22.8 %). Unter Auffahrunfällen zusammengefasst wurden alle Unfälle der Typen 601 bis 649 (= Teilmenge der Unfälle im Längsverkehr) sowie die Unfalltypen 201 (Auffahren auf einen verkehrsbedingt wartenden Linksabbieger) und 231 (Auffahren auf einen verkehrsbedingt wartenden Rechtsabbieger). Von den 71 Auffahrunfällen hielt der auffahrende Fahrer bei 16 Unfällen einen zu geringen Sicherheitsabstand ein, in 38 Fällen dagegen nicht (bei 34 Auffahrunfällen ist eine genaue Beurteilung des Sicherheitsabstands nicht möglich).

Von den Fahrern, die einen zu geringen Sicherheitsabstand einhielten, waren 69.6 % Unfallverursacher eines Auffahrunfalls; bei denen, die den Sicherheitsabstand nicht unterschritten, liegt der Anteil nur bei 50.0 %. Das Relative Risiko von mangelndem Sicherheitsabstand für die Verursachung eines Auffahrunfalls beträgt 1.39 (RR=1.39, 95%-CI [0.98; 1.98]. Zum Vergleich: Das Relative Risiko von nicht angepasster Geschwindigkeit bei Auffahrunfällen beträgt 1.54 (RR=1.54, 95%-CI [1.04; 2.28], d. h. nicht angepasste Geschwindigkeit spielt für die Entstehung von Auffahrunfällen eine noch etwas größere Rolle als mangelnder Sicherheitsabstand.

Die Unfall*beteiligten*, die einen zu geringen Sicherheitsabstand einhielten, waren in der Regel Fahrer, in einer Kolonne fuhren und in einem plötzlich entstehenden Stau oder an einem Stauende selbst nur knapp hinter einem vor ihnen fahrenden, ebenfalls bremsenden Fahrzeug zum Stehen kamen. Der hinter ihnen fahrende Fahrer schaffte es jedoch nicht mehr bis zum Stillstand und fuhr auf.

Von den älteren Fahrern gab es lediglich eine einzige Person, der einen zu geringen Sicherheitsabstand einhielt (2.4 % vs. 7.7 % und 6.5 % bei jüngeren und mittelalten Fahrern); der Unterschied ist jedoch nicht signifikant ($Chi^2(df=2, N=365) = 1.37$, n.s.). Die Unterschiede zwischen den Geschlechtern sind hingegen sehr deutlich: Männer hielten 3.6 mal so häufig wie Frauen einen zu geringen Sicherheitsabstand ein (9.2 % der Männer vs. 2.6 % der Frauen; $Chi^2(df=1, N=377) = 5.39$, $p<.05$; $RR_{Männer}=3.60$, 95%-CI [1.11; 11.72]).

4.6.2 Fehler im Bereich Wahrnehmung

4.6.2.1 Einfluss von Lichtverhältnissen

Zwischen dem Unfalltyp und den Lichtverhältnissen zum Unfallzeitpunkt besteht signifikanter Zusammenhang (Chi^2(df=8, N=303) = 31.86, p<.001).

Tabelle 29: Häufigkeit der Unfalltypen in Abhängigkeit der Lichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt

	Lichtverhältnisse			
	Tageslicht	**Dämmerung**	**Dunkelheit**	**Gesamt**
Abkommen von Fahrbahn	38 (17.8 %)	6 (31.6 %)	24 (34.3 %)	68 (22.4 %)
Abbiegen-Unfall	33 (15.4 %)	4 (21.1 %)	10 (14.3 %)	47 (15.5 %)
Unfall durch Einbiegen / Kreuzen	56 (26.2 %)	4 (21.1 %)	10 (14.3 %)	70 (23.1 %)
Unfall im Längsverkehr (z. B. Auffahrunfall)	77 (36.0 %)	2 (10.5 %)	13 (18.6 %)	92 (30.4 %)
Sonstiges (Einschlafen, Ohnmacht, techn. Defekt, u. a.)	10 (4.7 %)	3 (15.8 %)	13 (18.6 %)	26 (8.6 %)
Gesamt	214 (100.0 %)	19 (100.0 %)	70 (100.0 %)	303 (100.0 %)

Anmerkung: Von der Auswertung ausgenommen sind die Unfalltypen 4 und 5, d. h. Unfälle mit Fußgängern und Unfälle durch ruhenden Verkehr, da für diese Kategorien zu wenig Fälle vorhanden waren.

Generell waren die Unfallzahlen bei Tageslicht größer als bei Dunkelheit. Dies sagt an sich jedoch noch nichts über das Unfallrisiko aus, da auch das Verkehrsaufkommen bei Tag größer ist als in der Nacht und damit auch die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls steigt. Daher muss die relative Häufigkeit bestimmter Unfalltypen für jede Helligkeit betrachtet werden. Bei Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn und sonstigen Unfällen ist das Unfallrisiko bei Dunkelheit stark erhöht (p<.05 bzw. p<.01). Auffahrunfälle und Unfälle beim Einbiegen oder Kreuzen ereignen sich hingegen bei Tageslicht etwa doppelt so häufig wie bei Dunkelheit; der Unterschied ist jedoch nicht signifikant (ebenso wie bei Abbiege-Unfällen).

Von den insgesamt 20 Unfällen an Knotenpunkten (Typ 2 und 3), die sich bei Dunkelheit ereigneten, war lediglich bei fünf Unfallstellen *keine* Straßenbeleuchtung vorhanden. Bei den übrigen Unfällen waren Straßenlaternen vorhanden und auch zum Unfallzeitpunkt eingeschaltet. Genau umgekehrt sind die Verhältnisse bei Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn: Lediglich bei fünf

von 24 Dunkelheitsunfällen war eine Straßenbeleuchtung vorhanden und in Betrieb, bei den übrigen 19 hingegen nicht. Insofern kann gesagt werden, dass Dunkelheit als Risikofaktor – wenn überhaupt – allenfalls bei Fahrunfällen, die häufig auf unbeleuchteten Landstraßen oder Autobahnen geschehen, eine Rolle spielt, nicht jedoch bei Unfällen an Knotenpunkten, da diese zumeist (v. a. innerorts) eine Straßenbeleuchtung besitzen, die die Wahrnehmbarkeit von Straßenverlauf und anderen Verkehrsteilnehmern verbessert.

Doch auch wenn die Annahme naheliegend ist, dass ein kausaler Zusammenhang zwischen der erschwerten Erkennbarkeit des Straßenverlaufs bei Dunkelheit auf unbeleuchteten Landstraßen und einem Abkommen von der Fahrbahn besteht, darf von einem bloßen statistischen Zusammenhang nicht voreilig auf eine Kausalität geschlossen werden (vgl. auch Bartmann et al., 1993). Es muss vielmehr genau unterschieden werden zwischen Unfällen, bei denen eine eingeschränkte Sicht durch Dunkelheit eine Unfallursache war, und solchen Unfällen, die aufgrund anderer Ursachen passierten (z. B. überhöhte Geschwindigkeit, Alkoholisierung) und bei denen es nur zufällig zum Unfallzeitpunkt dunkel war. Diese Differenzierung hat einen entscheidenden Einfluss auf die Frage, inwieweit durch Fahrerassistenzsysteme wie *Night Vision* oder ein Adaptives Kurvenlicht Verkehrsunfälle vermeidbar sind. In den Kapiteln 4.7.10 bis 4.7.13 zu diesen beiden Systemen wird auf diese Problematik ausführlich eingegangen.

4.6.2.2 Einfluss von Blendung

Alle interviewten Fahrer wurden gefragt, ob sie zum Unfallzeitpunkt geblendet worden waren. Wenn sie dies bejahten, wurden sie nach der Art der Blendung (Direktes Sonnenlicht, Scheinwerfer eines entgegenkommenden Fahrzeugs, Sonnenlicht im Rückspiegel, Scheinwerfer eines hinteren Fahrzeugs im Rückspiegel und Sonstiges) und der Stärke der Blendung (leicht – mittel – stark) gefragt.

Von 262 Befragten gaben zwölf Fahrer an, zum Unfallzeitpunkt geblendet worden zu sein. Von drei weiteren unfallverursachenden Fahrern ist (aus der Verkehrsunfallanzeige) bekannt, dass sie dies gegenüber der Polizei äußerten; da diese Fahrer jedoch die Teilnahme an einem Interview ablehnten, sind sie in der folgenden Tabelle nicht mitgezählt:

Tabelle 30: Der Einfluss von Sonnenblendung auf die Unfallverursachung (Anzahl interviewter Fahrer N=262)

	Blendung	**Keine Blendung**	**Gesamt**
Verursacher	12 (100.0 %)	132 (52.8 %)	144 (55.0 %)
Beteiligter	0 (0 %)	118 (47.2 %)	118 (45.0 %)
Gesamt	12 (100.0 %)	250 (100.0 %)	262 (100.0 %)

Der Unterschied ist höchst signifikant (Chi^2(df=1, N=262) = 10.31, p<.001; RR=1.89, 95%-CI [1.68; 2.13]); unter Sonnenblendung zum Unfallzeitpunkt ist das Risiko, einen Unfall zu verursachen im Vergleich zu keiner Blendung um 89 % erhöht.

In allen Fällen war die Ursache für Blendung direktes Sonnenlicht – andere Blendungsarten traten nicht auf. Ein Fahrer wurde zusätzlich zum direkten Sonnenlicht durch Lichtreflexionen auf der nassen Fahrbahn geblendet. Für die obige Tabelle wurden nur jene Angaben gewertet, bei denen die Angabe des Fahrers glaubhaft war. Einige wenige Fahrer hatten nämlich angegeben, die Sonne habe sie geblendet, was jedoch aufgrund der Kriterien Fahrtrichtung, Sonnenstand zum Unfallzeitpunkt oder Bewölkung, die bei jedem Fall überprüft wurden, nicht möglich war. Sonnenblendung scheint von ihnen als bequeme Ausrede benutzt worden zu sein, um von eigenen Fehlern abzulenken.

Alle geblendeten Fahrer waren Unfallverursacher, keiner von ihnen ein Unfallbeteiligter. Von den zwölf Geblendeten trugen zwei zum Unfallzeitpunkt eine Sonnenbrille, die übrigen nicht. Fünf Befragte bezeichneten die Sonnenblendung als stark, fünf als mittel und zwei als leicht. Die meisten dieser Unfälle waren Unfälle beim Einbiegen oder Kreuzen (neun Fälle). Auffallend ist ein relativ hoher Anteil an älteren Fahrern über 60 Jahren (vier von zwölf, 33.3 %), obwohl ältere Fahrer nur 12.1 % aller Unfallverursacher ausmachen. Da jedoch die Blendempfindlichkeit des Auges mit höherem Alter zunimmt, ist dieses Ergebnis nicht überraschend (Ruprecht, 1993, S. 238 ff; Lachenmayr, 1996).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass 8.3 % der befragten Unfallverursacher nach ihrer Aussage vor dem Unfall geblendet wurden. Damit kann man Sonnenblendung als eine bedeutende Unfallursache bezeichnen, die in ihrer Häufigkeit vergleichbar ist mit Ursachen wie Alkoholisierung (8.7 %) oder Übermüdung (6.1 %). Diese Zahl unterscheidet sich gravierend von der offiziellen Unfallstatistik des Bundesamtes für Statistik (2002, S. 271), das Unfälle aufgrund von Sonnenblendung lediglich bei 0.5 % der Verkehrsunfälle mit Personenschaden als Unfallursache angibt. Die Diskrepanz der Zahlen dürfte wohl auf die Arbeitsweise der Polizei zurückzuführen sein, die verständlicherweise nicht daran interessiert ist, Unfallforschung zu betreiben, sondern einen Ver-

kehrsunfall vorschriftsgemäß und zügig abzuwickeln.

Zusätzlich zu den Unfällen, die aufgrund der Blendung durch direktes Sonnenlicht mitverursacht wurden, ereigneten sich noch zwei Fälle, bei denen der Fahrer ein Rotlicht an einer Ampel nicht erkannte, da das Rotlicht von der tiefstehenden Sonne beschienen wurde und durch Lichtreflexionen schlecht erkennbar war (siehe dazu Kapitel 4.7.14, „Potenzial einer Verkehrszeichenerkennung“).

4.6.2.3 Einfluss von Sichtverdeckung

Bei jedem untersuchten Unfall (außer auf Autobahnen) wurde vor Ort die Unfallstelle untersucht und mit Fotos dokumentiert. Diese Arbeit vor Ort ermöglichte zusätzlich zu den geführten Interviews mit den Fahrern die Beurteilung, inwieweit Gegebenheiten der Umwelt durch Sichtbehinderungen zur Unfallentstehung beitrugen.

Es zeigte sich, dass bei einer erheblichen Zahl an Unfällen, die sich aufgrund von Informationsfehlern der Fahrer ereigneten, die Sicht des Unfallverursachers durch Objekte in der Fahrumwelt beeinträchtigt war. Aus methodischen Gründen ist es (wie auch beim Einflussfaktor Dunkelheit) jedoch nicht möglich, ein relatives Risiko zu berechnen, da die unabhängige Variable nicht unabhängig auf die in einen Unfall verwickelten Fahrer wirkt. Ist beispielsweise an einer unübersichtlichen Kreuzung die Einsehbarkeit durch Hecken oder Sträucher für den Unfallverursacher erschwert, ist sie dies oft auch für den Unfallbeteiligten (auch wenn dies für ihn weniger relevant ist, da er vorfahrtsberechtigt ist). Aus diesem Grund kann die Größe des Risikos, das von sichtverdeckenden Objekten ausgeht, nicht beziffert werden.

Dennoch sind diese Unfälle eine genauere Betrachtung wert, da sich zumindest Aussagen über die Häufigkeit der Art eines sichtverdeckenden Objekts machen lassen. Zudem besteht bei etlichen Unfallstellen die Möglichkeit, durch bauliche Umgestaltungsmaßnahmen ihre Gefährlichkeit zu reduzieren. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über verschiedene Objekte, die durch Sichtverdeckung zu einem Unfall beigetragen haben.

Tabelle 31: Häufigkeit verschiedener Objekte, die durch Sichtverdeckung zur Unfallentstehung beitrugen (Gesamtzahl der Unfälle N=312)

Sichtverdeckendes Objekt	**Häufigkeit**
Bepflanzung (Bäume, Sträucher, Hecken, hohes Gras)	29 (40.3 %)
Kuppen	7 (9.7 %)
Gebäude	2 (2.8 %)

Zäune, Mauern	6 (8.3 %)
Andere Fahrzeuge (vorausfahrende und parkende Fahrzeuge, meist Lkw und Klein-Lkw)	22 (30.6 %)
Sonstiges (z. B. große, niedrig angebrachte Reklameschilder)	6 (8.3 %)
Gesamt	72 (100.0 %)

Diese Tabelle bedarf einiger Erläuterungen: Erfasst wurden hier nur Sichtverdeckungen bei Unfallverursachern, nicht die von Unfallbeteiligten, da sonst einige Objekte doppelt gezählt würden. Ebenso wurden nur solche Objekte gezählt, bei denen ein Zusammenhang zur Unfallverursachung sehr wahrscheinlich ist bzw. von den interviewten Fahrern ausdrücklich genannt wurde; selbstverständlich gibt es weitaus mehr Unfallstellen, an denen z. B. die Einsehbarkeit ebenfalls durch Bäume, Sträucher usw. eingeschränkt ist, doch war dies für das dortige Unfallereignis nicht relevant. Des Weiteren ist anzumerken, dass Mehrfachnennungen möglich sind (z. B. Sichtverdeckung durch Hecke und parkende Fahrzeuge).

Bei der Kategorie „Andere Fahrzeuge“ ist zu bedenken, dass dort die tatsächlichen Zahlen noch höher liegen dürften. Der Grund dafür ist, dass Sichtverdeckungen durch parkende oder fahrende Fahrzeuge nicht dauerhaft, sondern nur während einer bestimmten (kurzen) Zeitspanne vorhanden sind. Im Gegensatz zu unbeweglichen Objekten sind sie daher nicht mehr vorhanden, wenn durch den Unfallforscher eine Unfallstelle begutachtet und dokumentiert wird. Solche Sichtbehinderungen können daher nur erfasst werden, wenn ein verunfallter Fahrer sich am Interview beteiligt, sich an eine Sichtbehinderung durch ein anderes Fahrzeug erinnert und diese berichtet.

Grundsätzlich nicht erfasst wurden in obiger Tabelle Kurven, obwohl sie an vielen Unfallstellen eine Rolle spielten. Der Grund dafür ist, dass eine Kurve an sich noch keine Sichtverdeckung darstellt. Erst wenn sich auf der Innenseite der Kurve Objekte wie Bäume, Sträucher, hohes Gras o. Ä. befinden, kann sie zu einem Problem für die rechtzeitige Erkennung von Gefahren werden. In diesem Fall werden jedoch bereits die Objekte *in* der Kurve als Grund der Sichtverdeckung erfasst.

Die Tabelle zeigt, dass bei den meisten Unfällen, bei denen eine Sichtverdeckung vorlag, diese hauptsächlich aufgrund von Pflanzen (40.3 %) und anderen Fahrzeugen (30.6 %) erfolgte. Gebäude spielen fast keine Rolle und die Sichtbehinderungen verteilen sich gleichmäßig auf die übrigen drei Kategorien (8.3 % bis 9.7 %).

Ein Beispiel für einen Unfall, der aufgrund einer Sichtverdeckung mitverursacht wurde, ist folgender Fall:

Fall 246:

Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Fahrbahn war trocken. Ein Autofahrer fuhr in einer Zone 30 und wollte nach rechts in eine vorfahrtsberechtigte Straße einbiegen. Diese Straße besitzt zwei Fahrspuren in jede Richtung, die in der Mitte durch einen Grünstreifen baulich voneinander getrennt sind. Zusätzlich ist ein parallel zur Straße verlaufender Radweg und eine für einbiegende Fahrzeuge separate „Beschleunigungsspur“ vorhanden.

Der einbiegende Autofahrer fuhr mit ca. 35 km/h um die Kurve und konzentrierte sich dabei hauptsächlich auf den von links kommenden Autoverkehr. Dabei sah er einen von rechts kommenden Fahrradfahrer zu spät, der den Radweg verbotswidrig in der falschen Fahrtrichtung benutzte. Die Sicht auf den Radfahrer war dabei eine Grundstücksmauer, v. a. allem aber durch ein Werbebanner auf einem Bauzaun stark beeinträchtigt (siehe Abbildung!)



Abbildung 19: Unfallstelle aus Sicht des unfallbeteiligten Radfahrers, der den Radweg verbotswidrig in der falschen Fahrtrichtung befuhr. Er wurde vom unfallverursachenden Autofahrer übersehen, der links aus der Einmündung fuhr und nach rechts in die vorfahrtsberechtigte Straße einbiegen wollte. Durch die Grundstücksmauer und das Werbebanner auf dem Bauzaun war die Sicht auf den Radfahrer verdeckt, so dass der Autofahrer ihn zu spät sah.

Von den insgesamt 312 untersuchten Unfällen spielte Sichtverdeckung bei 19.2 % der Fälle (60 von 312) eine mitverursachende Rolle. Damit gehört Sichtverdeckung zu den häufigsten Einflussfaktoren. Dennoch gab es keinen einzigen Fall, bei dem Sichtverdeckung allein zum Unfall geführt hätte. Immer kamen noch weitere Einflussfaktoren oder Fehler hinzu, die in ihrem Zusammenwirken den Unfall verursachten.

4.6.2.4 Sonstige Einflussfaktoren auf die Wahrnehmung

Unter sonstigen Einflussfaktoren, die sich negativ auf die Sicht im Straßenverkehr auswirken können, sind Witterungseinflüsse, Verschmutzung und Beschlag von Scheiben sowie Fehlsichtigkeiten des Fahrers zusammengefasst.

Jeder Fahrer wurde beim Interview gefragt, ob seine Sicht durch die Witterung beeinträchtigt war. Wenn er dies bejahte, wurde gefragt, wodurch (Regen, Hagel, Schneefall, Nebel und Sonstiges) und wie stark (leicht – mittel – stark) die Sicht beeinträchtigt war. 16 der 312 Unfallverursacher (5.1 %) bejahten die Frage nach einer Sichtbehinderung; in den allermeisten Fällen wurde die Sicht durch Regen mittel oder stark beeinträchtigt, selten durch Nebel (drei Fahrer) oder Schneefall (ein Fahrer). Die Frage der Kausalität für einen Unfall ist jedoch nicht zu beantworten, da auch hier (wie bei Dunkelheit oder Sichtverdeckung) die Berechnung eines Relativen Risikos aufgrund der fehlenden statistischen Unabhängigkeit die notwendigen Voraussetzungen nicht erfüllt sind.

Dennoch sei der Vergleich zur amtlichen Unfallstatistik gezogen. Das Statistische Bundesamt (2002, S. 271) nennt Nebel für 0.1 % der Unfälle unfallverursachend und alle anderen Witterungseinflüsse zusammen (starker Regen, Hagel, Schneegestöber und Sonstiges) für knapp 0.2 % der Fälle.

Verschmutzung oder Beschlag der Scheiben spielte bei keinem der untersuchten Unfälle eine Rolle, weder direkt durch mangelnde Transparenz der Scheiben noch indirekt durch eine verstärkte Blendwirkung von Streulicht. Die einzige Ausnahme bildet folgender Unfall:

Fall 260:

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Straße war trocken. Ein Pkw-Fahrer fuhr auf einer Autobahn in einer leichten Linkskurve auf der Überholspur. Nach eigener Aussage sei er mit „mindestens 180 km/h“ gefahren. Als es plötzlich zu nieseln anfing, stellte er den Scheibenwischer an. Da jedoch die Windschutzscheibe seiner Aussage nach „stark verschmutzt“ war, wurde sie durch den Scheibenwischer verschmiert, so dass der Fahrer kurzzeitig nichts mehr sehen konnte. Dadurch konnte er einen auf der rechten Spur (laut Fahrtenschreiber mit 82 km/h) vorausfahrenden Lkw nicht mehr richtig erkennen und fuhr mit der rechten Fahrzeugfront auf dessen Auflieger hinten links auf. Vor dem Zusammenstoß habe er weder gelenkt noch gebremst, da alles so schnell gegangen sei.

Die Fahrer wurden im Interview zudem nach Fehlsichtigkeiten, der Art der Fehlsichtigkeit (Kurzsichtigkeit – Weitsichtigkeit) und Dioptrinstärke gefragt. Wenn sie eine Fehlsichtigkeit angaben, wurden sie gefragt, ob sie zum Unfallzeitpunkt eine Sehhilfe getragen hatten. Von 307 befragten Fahrern gaben 23 Fahrer (7.5 %) an, dass sie fehlsichtig seien und trotzdem zum Unfallzeitpunkt *keine* Sehhilfe getragen hätten. Sechs dieser Fahrer waren kurzsichtig, die übrigen weitsichtig.

Die Angaben sind jedoch nur unter großem Vorbehalt zu sehen, da bei der Frage nach Fehlsichtigkeit besonders damit gerechnet werden muss, dass Fahrer keine wahrheitsgemäßen Angaben machen. Dies ist nachvollziehbar, denn während bei bestimmten Einflussfaktoren (wie z. B. während des Fahrens parallel ausgeführten Tätigkeiten) den meisten Fahrern gar nicht bewusst ist, dass ihr Verhalten ein Sicherheitsrisiko darstellt, weiß hingegen jeder, dass es gefährlich (und verboten) ist, wenn er schlecht sieht und beim Autofahren keine Sehhilfe trägt.

Es scheint so zu sein, dass fehlsichtige Fahrer nur dann zugaben, keine Sehhilfe getragen zu haben, wenn dies für die Unfallverursachung ohnehin keine Rolle spielte. So waren z. B. die meisten dieser Fahrer (17 von 23) Weitsichtige; Weitsichtigkeit ist jedoch für die Sicherheit im Straßenverkehr bei weitem nicht so relevant wie Kurzsichtigkeit. Von den Kurzsichtigen war in allen sechs Fällen die Fehlsichtigkeit für den Unfall nicht relevant: Drei Fahrer waren Unfallbeteiligte und bei zwei Unfallverursachern bestand in einem Fall die Ursache in einem Sekundenschlaf und in einem anderen Fall in einer Kollision mit einer von einem Lkw fallenden Ladung. Lediglich bei einem Unfallverursacher (Abkommen aus einer Kurve bei Dunkelheit) kann von einer Mitursächlichkeit der Kurzsichtigkeit ausgegangen werden. Der Fahrer betonte jedoch, dass er wegen seiner Kurzsichtigkeit von 0.5 Dioptrin auf beiden Augen keine Sehhilfe benutzen müsse, da dies keine Auflage in seinem Führerschein sei.

Über die Stärke von Fehlsichtigkeiten lassen sich keine verlässlichen Angaben machen, da die große Mehrheit der befragten fehlsichtigen Personen ihre Dioptrinstärken nicht kannte. Insgesamt bleibt festzustellen, dass die Angaben der interviewten Fahrer zu ihren Fehlsichtigkeiten nicht verwertbar sind. Um den Einfluss von Sehschwächen auf die Unfallverursachung zu untersuchen, sind Interviews mit den Fahrern keine geeignete Methode.

4.6.3 Fehler im Bereich Aufmerksamkeit

4.6.3.1 Einfluss von Müdigkeit

Bei 19 von 312 Unfällen (6.1 %) spielte Übermüdung eine unfallverursachende Rolle. Bei acht dieser Unfälle bestand die Unfallursache in einem Sekundenschlaf. Bei den übrigen Unfällen trug die Müdigkeit meist durch eine verlängerte Reaktionszeit bzw. eine Schreckreaktion auf ein unvorhergesehenes, aber harmloses Ereignis (z. B. kleines Tier, das über Fahrbahn lief) zum Verkehrsunfall bei. Die tatsächliche Bedeutung des Einflussfaktors Müdigkeit dürfte noch etwas größer sein, da v. a. von Fahrern, die nachts einen Alleinunfall hatten, einige nicht zur Teilnahme an einem Interview bereit waren und deswegen über die Müdigkeit des Fahrers keine Aussage getroffen werden konnte.

Wertet man nur die Aussagen der interviewten Fahrer, so zeigt sich, dass alle Interviewten, die ihren Zustand vor dem Unfall als „eher müde“ oder „sehr müde“ bezeichneten, die Verursacher des

Unfalls waren. Da für einen Chi^2-Test die erwarteten Häufigkeiten für drei Zellen zu gering waren (<5), wurde die vierstufige Skala für Müdigkeit zu zwei Kategorien zusammengefasst („völlig wach" und „eher wach" zu „wach" sowie als „eher müde" und „sehr müde" zu müde). Der Unterschied ist höchst signifikant (Chi^2(df=1, N=254) = 14.13, p<.001; RR=1.94, 95%-CI [1.71; 2.19]). Das Risiko, in müdem Zustand einen Unfall zu verursachen, ist damit fast doppelt so hoch wie in wachem Zustand.

Alters- und Geschlechtsunterschiede zeigten sich bei Müdigkeitsunfällen nicht. Wie nicht anders zu erwarten, ereigneten sich die meisten Müdigkeitsunfälle nachts (22:00 bis 6:00 Uhr). Bei rund einem Viertel dieser Nachtunfälle spielte Müdigkeit eine Rolle. Siehe dazu Kapitel 4.7.8, „Potenzial einer Aufmerksamkeitskontrolle"!

4.6.3.2 Einfluss von Ablenkung durch Objekte innerhalb des Fahrzeugs

Die interviewten Fahrer wurden ausführlich danach gefragt, wo sie kurz vor dem Unfall hingesehen hatten, ob sie bestimmte Bedieneinrichtungen betätigt oder bestimmte Nebentätigkeiten während der Fahrt ausgeführt hatten. Die komplette Liste der gestellten Fragen findet sich im Anhang (Anhang H). Die Fragen wurden stets neutral formuliert, also z. B. „Haben Sie kurz vor dem Unfall auf den Tacho sehen?" und nicht etwa „Sind Sie dadurch abgelenkt worden, dass sie auf den Tacho gesehen haben?". Ziel dieser Art der Fragestellung war, möglichst offene und wahrheitsgemäße Antworten zu erhalten, ohne dass der Befragte bereits vorher selbst beurteilte, ob irgendein Detail seiner Ansicht nach wichtig und unfallrelevant war oder nicht. In vielen Fällen erzählte allerdings der Fahrer bei der allgemeinen freien Schilderung des Unfallhergangs zu Beginn eines jeden Interviews bereits von sich aus (ohne dass extra danach gefragt wurde), dass er durch eine bestimmte Tätigkeit oder Blickabwendung vom Verkehrsgeschehen abgelenkt war.

Für die Auswertung wurden alle Fahrer, denen ein Informationsfehler unterlaufen war (z. B. ein zu spätes Wahrnehmen des Bremsens eines Vordermanns oder ein zu spätes Bemerken ihres Abkommens von der Fahrspur) daraufhin überprüft, ob sie durch einen Reiz innerhalb des Fahrzeugs abgelenkt waren. Es zeigte sich, dass dadurch insgesamt 19 von 312 Unfällen (6.1 %) mitverursacht wurden. Alle diese Fahrer waren die Verursacher des Unfalls; hinzu kommt ein Fahrer, der nur Unfallbeteiligter war (Chi^2(df=1, N=282) = 4.65, p<.05; RR=1.30, 95%-CI [1.15; 1.47]). Hierbei wurden nur solche Unfälle gezählt, bei denen es einen offensichtlichen kausalen Zusammenhang zwischen der Ablenkung und Unfallverursachung gab. Unfälle, bei denen dieser Zusammenhang nicht eindeutig belegbar war – auch wenn er zu vermuten war – gingen nicht in die Auswertung mit ein.

Quellen der Ablenkung im Fahrzeug:

- Bedienung des Radios (5 Fälle)

- Bedienung des Kassettenrekorders (1 Fall)
- Bedienung des CD-Players (2 Fälle)
- Blick auf Anzeige des Navigationssystems (2 Fälle)
- Blick auf Tacho (1 Fall)
- Blick auf Tankanzeige (2 Fälle)
- Blick auf Uhr am Armaturenbrett (1 Fall)
- Sonstige Objekte (Landkarte, Zigarette anzünden, nach Sonnenbrille greifen u. a.) (6 Fälle)

Acht Fälle von Ablenkungen entfallen auf das Bedienen der Unterhaltungselektronik (Radio, Kassettenrekorder und CD-Player), sechs Fälle auf die Instrumentierung des Fahrzeugs. Unterhaltungselektronik ist damit die wichtigste Quelle der visuellen Ablenkung im Fahrzeug. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Stutts et al. (2001, S. 11), die zum selben Ergebnis kommen.

Mit einem Anteil von 6.1 % an allen verursachten Unfällen ist die visuelle Ablenkung durch Dinge innerhalb des Fahrzeugs ein ähnlich bedeutender Einflussfaktor wie beispielsweise Alkoholisierung (8.7 % aller verursachten Unfälle). Der in dieser Studie ermittelte Anteil deckt sich sehr gut mit dem von Stutts et al. (2001, S. 11) ermittelten Anteil von 8.3 % der durch visuelle Ablenkung verursachten Unfälle. Da Stutts et al. jedoch mit der Kategorie „distracted“ auch Ablenkungen durch Reize *außerhalb* des Fahrzeugs erfassen (die bei ihnen einen Anteil von 29.4 % aller Ablenkungen ausmachen), kommen sie auf einen (korrigierten) Prozentsatz von 5.9 % aller Unfälle, die durch Ablenkungen durch Reize *innerhalb* des Fahrzeugs verursacht wurden, also einen praktisch identischen Anteil wie in der vorliegenden Untersuchung (6.1 %).

Vergleicht man diese Zahl mit dem Ergebnis der Studie von Wierwille und Tijerina (1995), so zeigt sich, dass deren ermittelte Quote lediglich bei 1.12 Prozent liegt. Der Grund hierfür dürfte darin liegen, dass für deren Untersuchung die verunfallten Fahrer nicht selbst befragt wurden, sondern lediglich Unfallberichte der Polizei ausgewertet wurden (vgl. Kapitel 2.1.3). Es ist jedoch nachvollziehbar, dass die meisten Verunfallten es vorziehen, der Polizei gegenüber nichts von derartigen Fehlern zu erzählen – insbesondere dann, wenn durch den Unfall andere Verkehrsteilnehmer geschädigt wurden – da ihnen sonst Fahrlässigkeit vorgeworfen werden könnte. Für die vorliegende Studie hingegen mussten die Fahrer dies nicht befürchten, da sie zuvor über die anonyme und vertrauliche Behandlung ihrer Angaben aufgeklärt wurden.

Ein solches Beispiel ist auch der folgende Fall, bei dem der Fahrer durch einen Blick auf die Restdistanzanzeige seines Fahrerinformationssystems abgelenkt wurde und dies nur beim psychologischen Interview erzählte, nicht jedoch gegenüber der Polizei:

Fall 273:

> Zum Unfallzeitpunkt war es dunkel und die Fahrbahn war trocken. Eine Straßenbeleuchtung war nicht vorhanden. Der 65jährige Fahrer eines Audi A4 sagte: "Ich bin auf der Autobahn mit etwa 220 km/h auf der linken Spur gefahren. Als ich von dem Fahrerinformationssystem die Meldung bekam, dass der Sprit zu Ende geht, sah ich auf die Tankanzeige und sagte zu meinem Beifahrer: ‚Wir müssen tanken'. Ich wechselte nach rechts, um Benzin zu sparen und mit 150 weiterzufahren. Als ich dann wieder auf die Tankanzeige blickte, um auf die Restdistanzanzeige zu schauen, wechselte in dem Moment ein 5er-BMW-Fahrer, der vor mir fuhr, ohne zu Blinken auf die linke Spur.
>
> Damit war völlig unerwartet der Blick auf ein weiteres Auto [VW Passat] vor mir auf der rechten Spur frei, das sehr langsam fuhr. Ich war sehr überrascht und schaute ganz schnell, ob die linke Spur frei ist und zog nach links, um eine Kollision zu vermeiden. Dabei trat ich die Bremse voll durch, aber es verging ca. eine Sekunde, bis ich die Bremswirkung verspürte. Trotzdem stieß ich vorne rechts mit dem langsamen PKW hinten links zusammen. Mein Auto geriet außer Kontrolle, drehte links um 180 Grad und bewegte sich dann rückwärts auf der Überholspur weiter in Fahrtrichtung. Mit einem weiteren Auto, das sich auf der Überholspur näherte, kam es dann zu einem Frontalzusammenstoß."

Von 20 Unfällen, bei denen der Fahrer durch Dinge im Fahrzeug abgelenkt wurde, hatten die meisten (14 von 20, 70 %) etwas mit Anzeigen und Displays bzw. Bedienung von Geräten und Instrumentierungen des Fahrzeugs zu tun. Dabei wirft v. a. der relativ hohe Anteil an Fehlern durch die Benutzung der Unterhaltungselektronik (Radio, CD-Player) die Frage auf, inwieweit dort nicht durch eine verbesserte Ergonomie eine Reduzierung solcher Unfälle erreicht werden könnte. Insbesondere eine Steuerung der Unterhaltungselektronik per Spracheingabe könnte hier ein Ausweg sein, da dadurch der Fahrer seinen Blick nicht von der Straße abwenden muss und beide Hände am Lenkrad belassen kann. Auch eine Ansteuerung über Bedientasten am Lenkrad wären eine sinnvolle (und leichter umzusetzende) Alternative, da der Fahrer hierbei seinen Blick zumindest nicht zu weit von der Straße abwenden muss und beide Hände am Lenkrad belassen kann.

Einige wenige Unfälle ereigneten sich, weil der Fahrer durch sonstige, nicht zum Auto gehörende Gegenstände abgelenkt wurde. Ein Beispiel dafür sind folgende zwei Unfälle:

Fall 116:

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Fahrbahn war trocken. Der 32-jährige Fahrer eines Pkw fuhr (Geschwindigkeit 80 km/h) auf einer schmalen Landstraße durch ein Waldstück. Die Straße ist an der Unfallstelle 5.10 Meter breit und besitzt keine Mittelleitlinie. Sie verläuft in einer leichten Rechtskurve und ist wegen einer dahinter liegenden leichten Kuppe und eines dichten Fichtenforstes unmittelbar neben der Straße unübersichtlich.
>
> Der Fahrer, der die Unfallstelle gut kannte, sagte, er habe gewusst, dass ihn gleich beim Verlassen des Waldstücks die tiefstehende Sonne blenden würde. Er habe deshalb mit der rechten Hand nach seiner auf der Mittelkonsole liegenden Sonnenbrille gegriffen, so dass er nur noch seine linke Hand am Steuer hatte. Dabei habe er seinen Blick von der Straße ab-

gewendet. Dadurch kam er in der Rechtskurve zu weit nach links in die Straßenmitte und kollidierte ungebremst seitlich vorne mit einem in diesem Moment entgegenkommenden anderen Pkw.

Fall 39:

Ein 21jähriger Fahrer fuhr mit einem Kleintransporter (Paketdienst) auf einer Bundesstraße. Es war hell und die Straße war nass. Er wollte auf die Autobahn auffahren, aber hatte sich zum Unfallzeitpunkt verfahren – zuvor war er schon falsch abgebogen. Die Strecke war ihm unbekannt, ein Navigationssystem war nicht im Fahrzeug vorhanden. Der Fahrer sagte, er habe, um sich zu orientieren, auf eine Landkarte gesehen. Diese habe zusammengefaltet auf ein DIN A4-Format auf dem Beifahrersitz gelegen. Er habe die Karte etwa drei bis vier Sekunden lang angesehen. Durch die Blickabwendung sei er von seiner Fahrspur abgekommen und teilweise auf die Gegenfahrbahn gekommen. Als er am Beginn einer Rechtskurve bemerkte, dass er zu weit auf die Gegenfahrbahn fuhr und zugleich einen entgegenkommenden Pkw sah, sei er erschrocken und habe das Lenkrad nach rechts gerissen. Der mit Paketen beladene Kleintransporter schaukelte sich dadurch auf, sein Fahrer sei in Panik geraten und lenkte stark dagegen. Dadurch geriet der Kleintransporter ins Schleudern, stellte sich quer zur Fahrbahn und kippte auf den entgegenkommenden Pkw.

Ein anderer Unfall ereignete sich durch einen Fahrer, der in einer starken, unübersichtlichen Linkskurve auf der Landstraße versuchte, sich eine Zigarette mit einem Feuerzeug anzuzünden und dabei seinen Blick zur Beifahrerseite hin abgewendet hatte. Er kam auf die Gegenfahrbahn und kollidierte mit einem entgegenkommenden Fahrzeug.

42.1 % aller Unfälle, die aufgrund von Ablenkung durch Dinge innerhalb des Fahrzeugs verursacht wurden (8 von 19), wurden von jungen Fahrern (bis 24 Jahre) verursacht. 20.0 % der jungen Verursacher führten auf diese Weise einen Unfall herbei, jedoch nur 6.5 % der mittel alten und 7.1 % der älteren Verursacher. Der Unterschied ist signifikant ($Chi^2(df=2, N=206) = 6.90, p<.05$). Der Grund dafür dürfte v. a. darin liegen, dass jüngere Fahrer aufgrund ihrer geringen Fahrerfahrung ein geringeres Situationsbewusstsein (situational awareness) besitzen und daher schlechter einschätzen können, in welchen Verkehrssituationen sie gefahrlos z. B. ein Radio bedienen können und in welchen nicht.

Die meisten Unfälle (16 von 19, 84.2 %), bei denen Fahrer aufgrund von Dingen innerhalb des Fahrzeugs abgelenkt wurden, sind entweder Unfälle durch Abkommen von der Fahrspur (neun Fälle) oder Auffahrunfälle (sieben Fälle). Dies erscheint plausibel, da ein Fahrer an einem Verkehrsknotenpunkt beim Abbiegen, Einbiegen oder Kreuzen – insbesondere wenn er Vorfahrt zu gewähren hat – in der Regel auf das Verkehrsgeschehen konzentriert und durch die Tätigkeit auf der Spurführungsebene (Einordnen, Abbiegen usw.), die eine bewusste Kontrolle erfordert, bereits ausgelastet ist, so dass er nicht noch freiwillig eine zusätzliche parallele Tätigkeit auf sich nimmt.

Anders ist dies hingegen beim Fahren allein auf einer Landstraße oder beim Fahren in einer Fahrzeugkolonne, einer Tätigkeit auf der Stabilisierungsebene, die einer automatischen Kontrolle unterliegt. Da der Fahrer kognitiv und motorisch kaum beansprucht ist, meint er, er könne problemlos eine parallele Zusatztätigkeit bewältigen. Kommt es dann jedoch zu einem überraschenden Ereignis, z. B. einem plötzlichen Bremsen eines in der Kolonne vorausfahrenden Fahrzeugs, kann der Fahrer nicht mehr rechtzeitig reagieren. Bei Unfällen durch Abkommen von der Fahrspur hingegen dürften Fahrer schlicht die Schwierigkeit unterschätzen, auf einer nicht völlig geraden Strecke bei gleichzeitiger paralleler Tätigkeit die Spur zu halten.

Die relativ hohe Anzahl an Unfällen aufgrund von Ablenkung durch Dinge im Fahrzeug muss zudem bei der Diskussion des Potenzials der Assistenzsysteme *Lane Departure Warning* und Adaptive Cruise Control berücksichtigt werden. Die Gefahr von Verhaltensadaptationen erscheint hier besonders groß. Denn wenn der Fahrer bei ohnehin schon kognitiv wenig beanspruchenden Tätigkeiten wie in der Kolonne fahren oder allein auf einer Landstraße fahren durch diese Fahrerassistenzsysteme noch zusätzlich entlastet wird, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass er noch mehr Nebentätigkeiten auf sich nimmt, sich durch mehr Dinge ablenken lässt und sich dadurch weniger auf die Fahraufgabe konzentriert (vgl. Kapitel 5.2, „Beurteilung zu erwartender Risikoadaptationen bei Fahrerassistenzsystemen“).

4.6.3.3 Einfluss von Ablenkung durch Objekte außerhalb des Fahrzeugs

Die Daten der interviewten Fahrer wurden auch daraufhin ausgewertet, wie viele Unfälle dadurch (mit)verursacht wurden, dass der Fahrer zum Unfallzeitpunkt durch Dinge außerhalb des Fahrzeugs abgelenkt war. Die Vorgehensweise erfolgte auf die gleiche Weise wie bei der Ermittlung des Einflusses von Dingen *innerhalb* des Fahrzeugs (siehe oben beschriebenes Kapitel 4.6.3.2).

Für die Beantwortung der Frage, wie viel Prozent der Unfälle sich aufgrund von Ablenkungen durch Objekte außerhalb des Fahrzeugs ereigneten, wurden nur solche Unfälle gezählt, bei denen es einen offensichtlichen kausalen Zusammenhang zwischen der Ablenkung und Unfallverursachung gibt. Unfälle, bei denen dieser Zusammenhang nicht eindeutig belegbar ist – auch wenn er zu vermuten ist – gingen nicht in die Auswertung mit ein. Die Quellen der Ablenkung wurden zu sechs Kategorien zusammengefasst:

Quellen der Ablenkung außerhalb des Fahrzeugs:

- Andere (nicht vorfahrtsberechtigte) Verkehrsteilnehmer (15 Fälle)
- Schilder zur Navigation (6 Fälle)
- Objekte in der Umwelt (z. B. Tankstelle, Baustelle, Reklameschild) (5 Fälle)
- Personen (z.T. mit Tieren wie Hund oder Pferd) (3 Fälle)

- Vorausgegangene andere Unfälle (2 Fälle)
- Sonstiges (1 Fall)

Es zeigte sich: Insgesamt 31 von 312 untersuchten Unfällen (9.9 %) wurden dadurch (mit)verursacht, dass der Unfallverursacher durch einen Reiz *außerhalb* des Fahrzeugs abgelenkt wurde. Hinzu kommt ein Unfallbeteiligter (Chi^2(df=1, N=284) = 8.54, $p<.01$; RR=1.32, 95%-CI [1.18; 1.47]). Dieser Anteil ist viermal so hoch wie der von Stutts et al. (2001) ermittelte Prozentsatz von umgerechnet 2.4 % der Gesamtzahl aller Unfälle, die auf deren Kategorie „driver distraction by outside person, object or event“ (eine von insgesamt 13 „driver distraction categories“) entfallen (Stutts et al., 2001, S. 11).

Eine häufige Quelle der Ablenkung ist das Lesen von Richtungswegweisern (sechs Fälle), das bei Fahrern auftrat, die auf der Suche nach der richtigen Wegstrecke waren und auch noch zusätzlich durch die Navigationsaufgabe vom Verkehrsgeschehen abgelenkt waren (siehe auch Kapitel 4.6.3.4 „Einfluss von Ablenkung durch Navigationsaufgabe“).

Bei 15 Fahrern wurde der Unfall dadurch verursacht, dass sie auf andere Verkehrsteilnehmer achteten, die jedoch in ihrer Verkehrssituation wenig oder gar nicht verkehrsrelevant waren. Einige Beispiele hierfür: Zwei Fahrer beobachteten über den Rückspiegel ein hinter ihnen fahrendes Fahrzeug und kamen dadurch in einer Kurve von der Fahrbahn ab bzw. fuhren auf ein vorausfahrendes, bremsendes Fahrzeug auf. Andere Fahrer fixierten z. B. im zähfließenden Verkehr auf der Autobahn weit entfernte Fahrzeuge und übersahen dadurch das unmittelbar vor ihnen bremsende Fahrzeug zu spät. Andere Fahrer blickten vor einem Rechtseinbiegevorgang auf eine vorfahrtsberechtigte Straße vorausschauend auf vorfahrtsberechtigte Fahrzeuge, die von links kamen und übersahen dabei ebenfalls, dass ein unmittelbar vorausfahrendes Fahrzeug bremste.

Bei diesen Unfällen aufgrund der Blickzuwendung auf andere Verkehrsteilnehmer kann zwar klar gesagt werden, dass der Unfall dadurch mitverursacht wurde, dennoch fällt es bei einigen Unfällen schwer, diese Blickabwendungen als einen Fehler des Fahrers zu bezeichnen. Denn schließlich hat der Fahrer ja auch die Aufgabe, vorausschauend zu fahren und die gesamte Verkehrssituation zu überblicken; dazu gehört auch, auf andere Verkehrsteilnehmer zu achten (auch wenn diese z. B. nicht vorfahrtsberechtigt sind), da er schließlich immer auch damit rechnen muss, dass diese Fehler begehen oder gegen Verkehrsregeln verstoßen. Manche der Fahrer fuhren dabei jedoch so vorausschauend, dass sie die nahe Gefahr (z. B. ein bremsendes vorausfahrendes Fahrzeug) übersahen.

Zudem ist davon auszugehen, dass noch wesentlich mehr Fahrer eine Gefahr zu spät sahen, weil sie kurz vor dem Unfall auf den „falschen“ Verkehrsteilnehmer achteten, dass sie dies jedoch nicht erwähnten, weil sie es für trivial hielten – im Gegensatz zur Ablenkung durch einen nicht verkehrssicherheitsrelevanten Reiz wie z. B. einem Reklameschild.

Insofern wäre es sinnvoll, den Einflussfaktor „Ablenkung durch Objekte außerhalb des Fahrzeugs" genauer zu spezifizieren und als „Ablenkung durch nicht verkehrssicherheitsrelevante Objekte außerhalb des Fahrzeugs" zu bezeichnen. Ablenkungen durch andere Verkehrsteilnehmer werden dadurch nicht mitgezählt und es verbleiben damit 16 Unfälle, d. h. 5.1 % aller untersuchten Unfälle, bei denen die Unfallursache in einer derartigen Ablenkung bestand.

4.6.3.4 Einfluss von Ablenkung durch die Navigationsaufgabe

Die interviewten Fahrer wurden danach gefragt, wie gut sie die Strecke kannten, auf der sich der Unfall ereignete. Es zeigte sich, dass der großen Mehrheit 75.6 % der Fahrer (201 von 266) die gefahrene Strecke (d. h. auch die Unfallstelle) sehr gut bekannt war.

Tabelle 32: Der Einfluss der Bekanntheit der gefahrenen Strecke auf die Unfallverursachung

	Bekanntheit der gefahrenen Strecke				
	Sehr gut	Eher gut	Eher schlecht	Sehr schlecht	Gesamt
Verursacher	98 (48.8 %)	20 (62.5 %)	12 (85.7 %)	15 (78.9 %)	145 (54.5)
Beteiligter	103 (51.2 %)	12 (37.5 %)	2 (14.3 %)	4 (21.1 %)	121 (45.5)
Gesamt	201 (100.0 %)	32 (100.0 %)	14 (100.0 %)	19 (100.0 %)	266 (100.0 %)

Interessant ist die Gruppe der Fahrer, denen die Strecke eher schlecht oder gar nicht bekannt war. Sie weisen ein hoch signifikant erhöhtes Risiko auf, Verursacher eines Unfalls zu sein (Chi^2(df=3, N=266) = 13.58, p<.01). Zur Berechnung eines Relativen Risikos wurden die vier Kategorien zu zwei zusammengefasst („Strecke schlecht bekannt" vs. „Strecke gut bekannt"). Fahrer, die die gefahrene Strecke schlecht kannten, besaßen im Vergleich zu den ortskundigen Fahrern ein um 62 % erhöhtes Risiko, einen Unfall zu verursachen (RR=1.62, 95%-CI [1.32; 1.98]). Damit kann eine fehlende Vertrautheit mit der gefahrenen Strecke als ein bedeutender Risikofaktor bezeichnet werden. Die Unfallarten der durch mangelnde Ortskenntnis mitverursachten Unfälle unterschieden sich nicht von den übrigen Unfällen.

Noch deutlicher wird der Unterschied, wenn man die Fahrer betrachtet, die zum Unfallzeitpunkt konkret durch die Navigationsaufgabe kognitiv beansprucht waren. Den Fahrern wurden die Fragen gestellt: „Waren Sie kurz vor dem Unfall damit beschäftigt, den richtigen Weg zu finden?" sowie (falls sie die erste Frage bejahten) „Haben Sie nach bestimmten Dingen Ausschau gehalten, um sich zu orientieren?" (vgl. Anhang I).

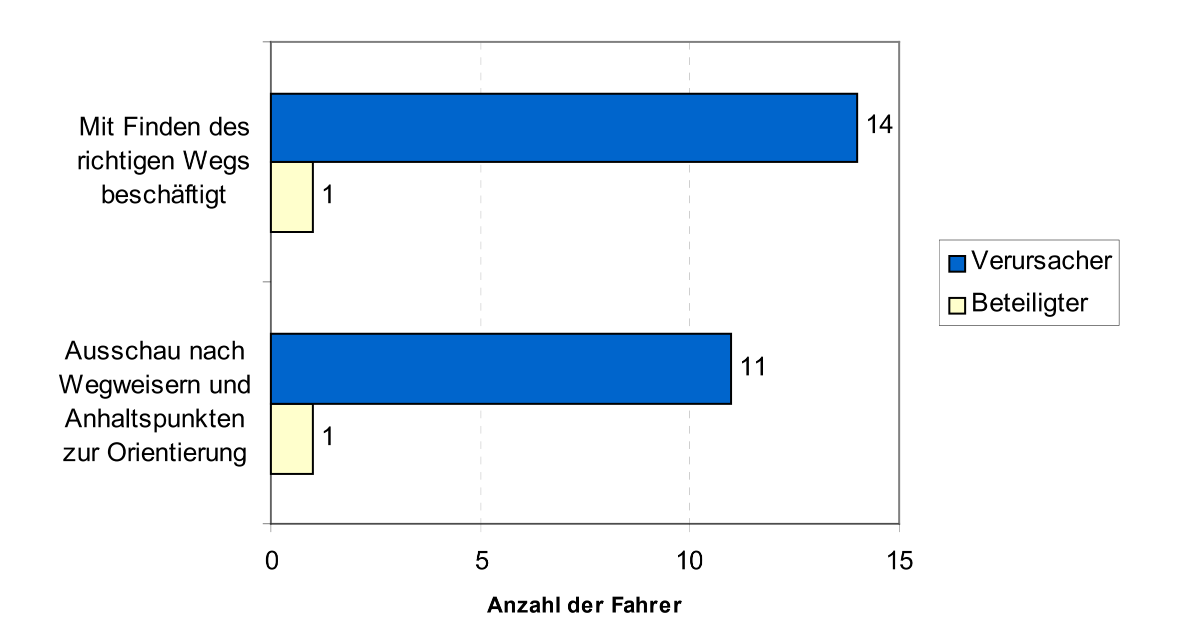


Abbildung 20: Die Anzahl der Fahrer, die kurz vor dem Unfall mit dem Finden des richtigen Wegs beschäftigt waren bzw. die Ausschau nach Wegweisern und Anhaltspunkten zur Orientierung gehalten hatten, unterteilt nach Verursachern und Beteiligten.

Wie die Abbildung zeigt, waren unter den befragten Fahrern, die zum Unfallzeitpunkt mit der Navigationsaufgabe beschäftig waren – bis auf eine einzige Ausnahme – nur Unfallverursacher (Chi^2(df=1, N=267) = 9.41, p<.01). Ablenkung durch die Navigationsaufgabe erhöht das Risiko einer Unfallverursachung um 77 % (RR=1.77, 95%-CI [1.48; 2.11]). Das Ausschauhalten nach bestimmten Dingen zur Orientierung erhöht das Risiko einer Unfallverursachung um 65 % (RR= 1.65, 95%-CI [1.06; 2.58].

Von den durch das Navigieren abgelenkten Personen besaßen nur zwei ein Navigationssystem und nur einer von ihnen benutzte es auch zum Unfallzeitpunkt. Möglicherweise hätte ein Teil dieser Unfälle durch die Benutzung eines Navigationssystems verhindert werden können.

Falls die oben genannten Fragen positiv beantwortet wurden, wurden die Interviewten zusätzlich danach gefragt, was genau sie getan hatten, um sich zu orientieren bzw. wonach genau sie Ausschau gehalten hatten. In fast allen Fällen hielten die Betroffenen Ausschau nach Wegweisern bzw. Wegweisertafeln, nur in einem Fall nach einem prägnanten Orientierungspunkt (*landmark*, in diesem Fall ein Tunnel).

Von den zwölf Personen, die zum Unfallzeitpunkt Ausschau nach Dingen zur Orientierung hielten, verursachte die Hälfte (50.0 %) den Unfall dadurch, dass sie beim Linksabbiegen ein Fahrzeug des Gegenverkehrs übersahen – der Anteil dieses Unfalltyps an allen Unfällen liegt hingegen nur bei

9.6 % (30 von 312). Diese Häufung überrascht nicht, wenn man bedenkt, dass für einen Ortsunkundigen die kognitive Belastung an einer Kreuzung besonders hoch ist, da er dort eine Entscheidung über seine Fahrtrichtung fällen muss und da an solchen Verkehrsknotenpunkten häufig auch Wegweiser und Wegweisertafeln stehen, die der Fahrer entdecken und lesen muss.

4.6.3.5 Einfluss von kognitiver Ablenkung

Im Interview wurde den Fahrern die Frage gestellt: „Wie stark haben Sie sich auf das Fahren konzentriert, bevor sich der Unfall ereignete?“ Zur Antwort standen folgende Antwortalternativen: stark konzentriert (nur auf das Fahren) – konzentriert (überwiegend auf das Fahren) – weniger konzentriert (stark mit anderen Dingen beschäftigt) – nicht konzentriert.

Tabelle 33: Einfluss der Konzentration auf das Fahren zum Unfallzeitpunkt auf die Unfallverursachung

	Konzentration auf das Fahren				
	Stark konzentriert	Konzentriert	Weniger konzentriert	Nicht konzentriert	Gesamt
Verursacher	54 (45.8 %)	48 (51.1 %)	23 (88.5 %)	8 (100.0 %)	133 (54.1 %)
Beteiligter	64 (54.2 %)	46 (48.9 %)	3 (11.5 %)	0 (0.0 %)	113 (45.9 %)
Gesamt	118 (100.0 %)	94 (100.0 %)	26 (100.0 %)	8 (100.0 %)	246 (100.0 %)

Von den 307 interviewten Fahrern gab die große Mehrheit (69.1 %) an, sich überwiegend bzw. stark auf das Fahren konzentriert zu haben; 61 Befragte konnten/wollten die Frage nicht beantworten. Interessant sind diejenigen Fahrer, die stärkeren Konzentrationsmangel zum Unfallzeitpunkt zugaben. Unter den Fahrern, die sich weniger auf das Fahren konzentriert hatten, befanden sich überwiegend Unfallverursacher (88.5 %) und unter denjenigen, die sich gar nicht konzentriert hatten, ausschließlich Unfallverursacher und keine Unfallbeteiligte. Der Unterschied ist höchst signifikant (Chi^2(df=3, N=246) = 22.80, p<.001). Zur Berechnung eines Relativen Risikos wurden die vier Kategorien zu zwei zusammengefasst („unkonzentriert“ vs. „konzentriert“). Es zeigte sich, dass mangelnde Konzentration auf die Fahraufgabe das Risiko einer Unfallverursachung um 90 % erhöhte (RR=1.90, 95%-CI [1.59; 2.26]). Damit ist diese Variable ein bedeutender Risikofaktor.

Bei dieser Frage muss jedoch bedacht werden, dass vermutlich zahlreiche Fahrer sich als konzentrierter ausgaben, als sie es in Wirklichkeit waren. Zumindest kam es häufig vor, dass Unfallverursacher, denen offensichtlich aus Unachtsamkeit ein oder mehrere grobe Fehler unterlaufen waren,

sich selbst als konzentriert oder gar stark konzentriert (zum Unfallzeitpunkt) bezeichneten. Das tatsächliche Risiko dürfte insofern noch deutlich höher liegen.

4.6.3.6 Einfluss von Ablenkung durch Personen im Fahrzeug

Um zu überprüfen, ob Unfälle dadurch entstanden, dass der Fahrer durch Mitfahrer im Fahrzeug abgelenkt waren, wurden verschiedene Variablen ausgewertet. Zunächst wurde allgemein überprüft, ob bereits das bloße Vorhandensein von Mitfahrern das Unfallrisiko beeinflusste. Dazu wurde die Gruppe der Fahrer, die allein im Auto saß, verglichen mit der Gruppe, die mindestens einen Mitfahrer hatte. Es zeigte sich, dass rund zwei Drittel aller Fahrer (67.3 %) zum Unfallzeitpunkt allein im Auto saßen. Hinsichtlich der Insassenanzahl zeigten sich jedoch keine Unterschiede zwischen Unfallverursachern und Unfallbeteiligten, d. h. Fahrer die allein im Auto saßen, waren genauso häufig die Verursacher eines Unfalls wie Fahrer mit mindestens einem Insassen (Chi^2(df=1, N=450) = 0.28, n.s.).

Weiterhin wurden die Aussagen der Interviewten ausgewertet, ob sie sich kurz vor dem Unfall mit einer oder mehreren Personen im Fahrzeug unterhalten hatten, und wenn ja, ob sie selbst zugehört oder selbst gesprochen hatten. Die Hälfte der Befragten Fahrer mit anderen Personen im Auto hatte sich zum Unfallzeitpunkt unterhalten (50.6 %). Es zeigten sich jedoch auch hier keinerlei Unterschiede zwischen Verursachern und Beteiligten (Chi^2(df=1, N=81) = 0.10, n.s.)

Bei allgemeinen Vergleichen ließ sich also kein Effekt von mitfahrenden Personen auf die Unfallverursachung nachweisen. Lediglich bei einzelnen Unfällen trugen Beifahrer (indirekt) zur Unfallverursachung bei. Dafür einige Beispiele:

- Ein Fahrer steckte seiner eineinhalbjährigen Tochter im Kindersitz auf dem Beifahrersitz einen herausgefallenen (an einer Schnur hängenden) Schnuller wieder in den Mund und fuhr dabei auf ein plötzlich entstehendes Stauende auf.
- Ein Fahrer hatte seine rechte Hand auf dem linken Knie seiner Beifahrerin (= Freundin) liegen, sprach zu ihr und blickte sie an und kam dabei innerorts in einer starken Rechtskurve und überhöhter Geschwindigkeit nach links von der Fahrbahn ab.
- Zwei Fahrer (männlich und weiblich) hatten zum Unfallzeitpunkt einen heftigen Streit mit ihrem Ehepartner auf dem Beifahrersitz und übersahen durch die Ablenkung ein vorfahrtsberechtigtes Fahrzeug bzw. kamen von der Fahrbahn ab.
- Ein Fahrer wurde von seiner Beifahrerin auf ein neu aufgestelltes Reklameschild am Straßenrand aufmerksam gemacht, blickte dorthin und fuhr dabei auf ein plötzlich entstehendes Stauende auf.

- Zwei Fahrer wurden von ihren Beifahrer(innen) an einer Kreuzung zum Abbiegen bzw. Überqueren animiert („Kommando-Effekt"). Im einen Fall (Polizei mit Sondersignalen auf Einsatzfahrt beim Überqueren einer roten Ampel) sagte der Beifahrer: „Rechts ist frei!", wodurch der Fahrer beschleunigte (links war aber nicht frei). Im anderen Fall sagte die Beifahrerin vor dem Abbiegen über ein Fahrzeug des Gegenverkehrs: „Du kannst fahren, der hält!" (er hielt aber nicht).

Auch wenn bei einzelnen Fällen der Beifahrer zur Unfallentstehung beitrug, sollte jedoch auch berücksichtigt werden, dass in manchen kritischen Verkehrssituationen ein Unfall dadurch verhindert werden kann, dass ein Beifahrer aufmerksam ist und den Fahrer rechtzeitig auf eine Gefahr hinweist, die dieser übersehen hat. Wenn dadurch jedoch ein Unfall *nicht* entsteht, ist er auch kein Fall für die Unfallforschung und kann nicht in die untersuchte Stichprobe aufgenommen werden. Ein generell ablenkender Einfluss durch Beifahrer ist jedoch ohnehin nicht nachweisbar (vgl. hierzu auch Vollrath et al., 2002, S. 653, die in einer methodisch vorbildlichen Untersuchung sogar eine Verminderung des Unfallrisikos durch die Anwesenheit von Beifahrern nachweisen konnten).

4.6.4 Einfluss der Emotion des Fahrers

Den Fahrern wurde die Frage gestellt, in welcher gefühlsmäßigen Verfassung sie waren, bevor sich der Unfall ereignete. Von den 307 interviewten Fahrern machten 211 dazu Angaben. Ihre Antworten wurden im Wortlaut festgehalten. Für die Auswertung wurden nach Sichtung sämtlicher Antworten nachträglich Kategorien gebildet. Die in der folgenden Tabelle aufgeführten Emotionen traten auf:

Tabelle 34: Einfluss der emotionalen Verfassung auf die Unfallverursachung

	Emotionale Verfassung vor dem Unfall							
	normal, neutral, entspannt	freudig	traurig	gestresst	frustriert, genervt	aggressiv, wütend	Sonstiges	Gesamt
Verursacher	66 (47.8 %)	14 (34.1 %)	2 (100.0 %)	15 (88.2 %)	3 (100.0 %)	6 (85.7 %)	2 (66.7 %)	108 (51.2 %)
Beteiligte	72 (52.2 %)	27 (65.9 %)	0 (0.0 %)	2 (11.8 %)	0 (0.0 %)	1 (14.3 %)	1 (33.3 %)	103 (48.8 %)
Gesamt	138 (100.0 %)	41 (100.0 %)	2 (100.0 %)	17 (100.0 %)	3 (100.0 %)	7 (100.0 %)	3 (100.0 %)	211 (100.0 %)

Der Unterschied zwischen Verursachern und Beteiligten hinsichtlich ihrer emotionalen Verfassung vor dem Unfall ist höchst signifikant ($Chi^2(df=6, N=211) = 23.12, p<.001$). Rund zwei Drittel der Fahrer (65.4 %) gaben an, sie seien zum Unfallzeitpunkt in keiner besonderen gefühlsmäßigen Verfassung gewesen; häufige Antworten waren diesbezüglich „normal“ oder „entspannt“. Ein Fünftel der Fahrer (19.4 %) gab an, „gut gelaunt“, „gut drauf“ oder „in guter Stimmung“ gewesen zu sein; häufig geäußerte Gründe waren eine freudige Erwartung von Wochenende, Urlaub oder des Ziels, zu dem der Fahrer unterwegs war.

Nur drei Personen sagten, sie seien zum Unfallzeitpunkt traurig gewesen. Eine Fahrerin litt an Depressionen und befand sich deswegen in psychotherapeutischer Behandlung, ein anderer Fahrer dachte an seine pflegebedürftige Mutter, die er gerade im Altenheim angemeldet hatte. Ein weiterer Fahrer sagte, er habe an seine Frau gedacht, die eine Woche zuvor gestorben war. Er befand sich auf der Fahrt nach Hause und habe daran gedacht, dass ihn dort wieder niemand erwarten werde. Gründe für Stress (8.1 % der Fahrer) waren häufig Zeitdruck oder berufliche Belastung, die Gründe für die seltenen Emotionen Frustration bzw. Wut waren z. B. die Verkehrssituation bzw. ein Streit.

Von den sechs Unfallverursachern, die sich selbst als aggressiv / wütend bezeichneten, waren drei stark alkoholisiert (1.4, 1.6 und 1.7 Promille). Bei diesen Promillewerten muss definitiv die Alkoholisierung als unfallverursachend bezeichnet werden – die Emotion ist dabei nebensächlich.

Wie die obige Tabelle zeigt, waren Fahrer mit negativen Emotionen häufiger als Verursacher denn als Beteiligte in Verkehrsunfälle verwickelt. Aufgrund der geringen Anzahlen für einige Kategorien sind hier jedoch für einzelne Emotionen keine statistisch abgesicherten Aussagen möglich. Aus diesem Grund wurden die Einzelkategorien zu zwei großen Kategorien zusammengefasst und

dabei nur danach unterschieden, ob die Emotion positiv war oder nicht (siehe folgende Tabelle!).

Tabelle 35: Einfluss der emotionalen Verfassung auf die Unfallverursachung, dichotomisiert nach negativer Emotion versus positiver Emotion / neutraler Verfassung

	Negative Emotion (traurig, gestresst, frustriert, genervt, aggressiv, wütend)	**Positive Emotion oder neutrale Verfassung** (freudig, neutral, entspannt)	**Gesamt**
Verursacher	26 (89.7 %)	80 (44.7 %)	106 (51.0 %)
Beteiligte	3 (10.3 %)	99 (55.3 %)	102 (49.0 %)
Gesamt	29 (100.0 %)	179 (100.0 %)	208 (100.0 %)

Insgesamt waren 13.9 % der befragten Fahrer vor dem Unfall in einer negativen emotionalen Verfassung. Sie besaßen ein genau doppelt so großes Risiko, einen Unfall zu verursachen (RR=2.01, 95%-CI [1.64; 2.46]; $Chi^2(df=1, N=208) = 20.19$, $p<.001$). Damit ist die emotionale Verfassung des Fahrers einer der bedeutendsten Risikofaktoren für eine Unfallverursachung.

Es zeigte sich zudem ein signifikanter Einfluss zwischen dem Alter der Fahrer und der emotionalen Stimmung vor dem Unfall. Ein Viertel aller interviewten jungen Fahrer (25.6 %) war vor dem Unfall in einer negativen emotionalen Verfassung, hingegen nur ein Achtel aller mittelalten Fahrer (12.7 %); bei den älteren waren es sogar nur 4.3 % ($Chi^2(df=2, N=204) = 6.29$, $p<.05$). Insbesondere in der Kategorie „aggressiv, wütend“ fiel auf, dass alle Fahrer mit dieser Emotion bis 26 Jahre alt waren. Hinsichtlich des Unfalltyps oder des Geschlechts besteht kein Zusammenhang mit der Emotion.

Es wurde überprüft, ob es möglicherweise einen Zusammenhang zwischen bestimmten Emotionen und nicht angepasster Geschwindigkeit gab (z. B. ob gestresste Autofahrer zu schnell fuhren). Dies war jedoch nicht der Fall. Es zeigte sich jedoch ein höchst signifikanter Zusammenhang zwischen negativen Emotionen und der Konzentration auf die Fahraufgabe. So waren von den Fahrern mit negativen Emotionen 48.1 % nicht auf das Fahren konzentriert, von den Fahrern mit einer positiven oder neutralen Stimmung jedoch nur 7.6 % ($Chi^2(df=1, N=198) = 33.61$, $p<.001$). Dies legt die Schlussfolgerung nahe, dass negative Emotionen aufgrund der damit verbundenen kognitiven Ablenkung das Unfallrisiko erhöhen.

4.6.5 Fehler im Bereich Motorik

4.6.5.1 Verreißen des Lenkrads

Bei insgesamt 31 Fahrern wurde der Unfall dadurch mitverursacht, dass sie in einer kritischen Situation das Lenkrad verrissen. Die häufigste Ursache (21 Fahrer) hierbei war, dass die Fahrer versehentlich von ihrer Fahrspur abkamen (in der Regel nach rechts auf das Bankett), dadurch erschraken und vor Schreck eine zu starke Gegenlenkbewegung machten („Panikreaktion“). Dadurch geriet ihr Fahrzeug außer Kontrolle und überschlug sich, kam von der Fahrbahn ab oder schleuderte in den Gegenverkehr. Unter diesen Fahrern befanden sich ausschließlich Unfallverursacher, keine Unfallbeteiligten. Dies entspricht 6.7 % aller Unfälle oder 23.9 % aller Unfälle, bei denen der Fahrer von der Fahrspur abkam (Unfalltyp 1 (68 Fälle) und Unfalltyp 681 (20 Fälle)).

Der Fehler der Verunfallten lag zum einen darin, dass sie eine zu große Lenkbewegung machten, und zum anderen darin, dass sie nach einer Lenkbewegung, die das Fahrzeug wieder (aus dem Bankett) auf die Spur zurückbrachte, die Gegenlenkbewegung unterließen, um die Vorderräder des Fahrzeugs wieder gerade zu stellen (siehe Kapitel 4.7.7, Abbildung 22 für ein Beispiel dieser Unfallart). Hätten diese Fahrer eine angemessene Lenkbewegung gemacht, hätte der Unfall vermieden werden können. Es muss jedoch deutlich betont werden, dass all diesen Unfällen bereits andere Fehler vorausgingen, die erst dazu führten, dass der Fahrer von der Fahrspur abkam. Solche Fehler waren v. a. nicht angepasste Geschwindigkeit, Alkoholisierung, Übermüdung oder Ablenkung durch Dinge im Fahrzeug.

Für weitere Ergebnisse zu Fehlern beim Lenken siehe Kapitel 4.4.6 („Unfälle durch Handlungsfehler“).

4.6.5.2 Einfluss der Position der Hände am Lenkrad

Manchmal ist es dem Fahrer noch möglich, nachdem bereits eine kritische Situation eingetreten ist (z. B. weil er ein vorfahrtsberechtigtes Fahrzeug übersehen hat), durch ein geschicktes Ausweichmanöver einen Unfall abzuwenden. Voraussetzung für ein sicheres Lenkmanöver ist jedoch, dass er mit beiden Händen das Lenkrad an geeigneter Position umfasst. Aus diesem Grund wurde jeder Fahrer gefragt, wo er kurz vor dem Unfall seine Hände hatte und wo er das Lenkrad umfasste.

Um es den Befragten möglichst einfach zu machen, die Position ihrer Hände am Lenkrad zu benennen, wurden sie gefragt: „Stellen Sie sich vor, das Lenkrad wäre eine Uhr: Bei welchen Ziffern hatten Sie dann Ihre Hände?“ (siehe Anhang J). Die folgende Tabelle listet die Antworten auf, getrennt nach rechter und linker Hand:

Tabelle 36: Die Position der linken und der rechten Hand des Fahrers am Lenkrad kurz vor dem Unfall bei Fahrern, die zum Unfallzeitpunkt nicht standen. Die Angabe einer Uhrzeit kodiert eine Stelle am Lenkrad analog zum Ziffernblatt einer Uhr (z. B. „12 Uhr“ entspricht ganz oben, „3 Uhr“ entspricht ganz rechts usw.)

Position der *linken* Hand am Lenkrad	**Häufigkeit**		**Position der *rechten* Hand am Lenkrad**	**Häufigkeit**
„12 Uhr“	3 (1.6 %)		„12 Uhr“	2 (1.1 %)
„11 Uhr“	8 (4.4 %)		„1 Uhr“	3 (1.6 %)
„10 Uhr“	62 (33.9 %)		„2 Uhr“	57 (31.1 %)
„9 Uhr“	95 (51.9 %)		„3 Uhr“	89 (48.6 %)
„8 Uhr“	8 (4.4 %)		„4 Uhr“	10 (5.5 %)
„7 Uhr“	4 (2.2 %)		„5 Uhr“	2 (1.1 %)
„6 Uhr“	3 (1.6 %)		„6 Uhr“	0 (0.0 %)
Nicht am Lenkrad	0 (0.0 %)		Nicht am Lenkrad	20 (10.9 %)
Gesamt	183 (100.0 %)		Gesamt	183 (100.0 %)

Von den interviewten Fahrern konnten sich etliche nicht mehr an die genaue Position ihrer Hände erinnern – sie konnten lediglich sagen, dass sie diese am Lenkrad hatten. Diese Personen wurden bei der obigen Tabelle nicht berücksichtigt; dasselbe gilt für Zweiradfahrer. Fahrer, die zum Unfallzeitpunkt standen, wurden ebenfalls aus der Auswertung ausgeschlossen, da hier die Handpositionen nicht relevant waren (z. B. bei Unfallbeteiligten der Fall, die zum Unfallzeitpunkt an einer roten Ampel warteten und auf die der Unfallverursacher auffuhr). Die obige Tabelle basiert auf den Angaben von 183 Autofahrern. Die meisten Fahrer hatten ihre Hände zum Unfallzeitpunkt bei „9 Uhr“ und „3 Uhr“ (häufigste Paarung mit 81 Fahrern 44.3 %); ebenfalls zahlreiche Fahrer bei „10 Uhr“ und „2 Uhr“ (zweithäufigste Paarung mit 49 Fahrern 26.8 %).

Von Interesse sind diejenigen Unfälle, bei denen der Fahrer seine Hände *nicht* an den Standardpositionen „9“ oder „10“ und „2“ oder „3“ hatte: Insgesamt 20 Fahrer (10.9 %) hatten ihre rechte Hand zum Unfallzeitpunkt nicht am Lenkrad. Von den Fahrern, die mit der rechten Hand nicht das Lenkrad umfassten, hatten die meisten ihre Hand am Schalthebel (17 Fahrer); andere Positionen waren das Radio, Berührung des Beifahrers oder ein Objekt in der Hand (jeweils ein Fall). Hinzu kamen noch weitere solcher Fälle, die jedoch nicht zur Auswertung in die obige Tabelle eingingen, da die Interviewten sich nicht mehr an die Position ihrer rechten Hand erinnern konnten.

Von den Fahrern, die das Lenkrad nicht wie üblich an den Standardpositionen umfassten, gab es etliche, die das Lenkrad in einer sicherheitskritischen Weise griffen, z. B. mit beiden Händen an

den Positionen „8“ und „4“. Die Anzahl möglicher Griffkombinationen ist dabei entsprechend groß. Um zu untersuchen, ob die Position der Hände am Lenkrad einen Einfluss auf die Unfallverursachung hat, ist es daher notwendig, die Vielzahl an Griffkombinationen zu sinnvollen Kategorien zusammenzufassen. Aus diesem Grund wurden zwei Kategorien gebildet, die folgendermaßen definiert wurden:

Definition:

- Kategorie: „*Kritische Position der Hände am Lenkrad*“:
  Mindestens eine Hand ist überhaupt nicht am Lenkrad oder im unteren Bereich des Lenkradkranzes, d. h. an den Positionen „8“, „7“, „6“, „“5“ oder „4“.
- Kategorie: „*Unkritische Position der Hände am Lenkrad*“:
  Beide Hände sind am Lenkrad und greifen das Lenkrad an den Positionen „9“, „10“, „11“ oder „12“ mit der linken Hand und zugleich an den Positionen „12“, „1“, „2“ oder „3“ mit der rechten Hand.

Tabelle 37: Der Einfluss der Position der Hände am Lenkrad auf die Unfallverursachung. Anzahl befragter Fahrer (ohne Zweiradfahrer), die sich an Handpositionen erinnerten und die zum Unfallzeitpunkt nicht standen (N=183)

	Fahrer mit kritischer Position der Hände am Lenkrad*	**Fahrer mit unkritischer Position der Hände am Lenkrad***	**Gesamt**
Verursacher	24 (60.0 %)	73 (51.0 %)	97 (53.0 %)
Beteiligte	16 (40.0 %)	70 (49.0 %)	86 (47.0 %)
Gesamt	40 (100.0 %)	143 (100.0 %)	183 (100.0 %)

*Zur Definition der Kategorien siehe oben!

Wie die obige Tabelle zeigt, hatten 21.2 % der befragten Fahrer (40 von 183) kurz vor dem Unfall ihre Hände in einer kritischen Position am Lenkrad. Es ergab sich jedoch kein signifikanter Einfluss der Handposition auf die Unfallverursachung (Chi^2(df=1, N=183) = 1.01, n.s.). Auch wenn man nur *sehr* kritische Handpositionen betrachtet (beide Hände am unteren Bereich des Lenkradkranzes, bzw. nur eine Hand im unteren Bereich und die andere Hand gar nicht am Lenkrad), zeigt sich kein Einfluss.

Dieses Ergebnis ist etwas überraschend. Eine Erklärung ist, dass die Unfälle offensichtlich nicht durch ungünstige Positionen der Hände am Lenkrad herbeigeführt wurden. Der Fehler des Fahrers muss hier also in einem anderen Bereich gesucht werden (z. B. Wahrnehmung oder Aufmerksamkeit). Kam es dann aufgrund eines solchen Fehlers zu einer kritischen Situation, scheint es schon

zu spät gewesen zu sein, so dass nicht mehr entscheidend war, wo genau der Fahrer zum Unfallzeitpunkt seine Hände hatte.

Als Konsequenz für die Unfallprävention ließe sich daraus die Schlussfolgerung ziehen, dass es entscheidend ist, eine kritische Situation gar nicht erst entstehen zu lassen, d. h. dass dem Fahrer die Kompetenz vermittelt werden sollte, Gefahren rechtzeitig zu erkennen und zu vermeiden und nicht die Fertigkeit geschickter Ausweichmanöver, wie dies in zahlreichen Fahrsicherheitstrainings („Schleuderkursen“) der Fall ist (GDV, 2000b).

4.6.5.3 Einfluss von Fehlern bei der Benutzung der Bremse

Bei einigen Fahrern treten während des Bremsvorgang Fehler auf. Zu all diesen Unfällen muss jedoch deutlich gesagt werden, dass der Fehler beim Bremsen nicht die Ursache des Unfalls war. Die entscheidenden Fehler ereigneten sich immer bereits zu einem früheren Zeitpunkt in der Pre-Crash-Phase, so dass dadurch die kritische Situation herbeigeführt wurde, die ein Bremsen erst möglich machte. Hätten sich diese Fehler nicht ereignet, wäre es in allen Fällen wahrscheinlich dennoch zum Unfall gekommen – lediglich die Kollisionsgeschwindigkeit (und damit evtl. die Verletzungen der Fahrer) wäre geringer gewesen. Da die Fehler der Fahrer beim Bremsen für die Unfallvermeidung von nachrangiger Bedeutung sind, wird im Folgenden nur kurz darauf eingegangen.

Ein versehentliches Abrutschen vom Bremspedal trat bei zwei Fahrern auf. Ein Fahrer rutschte während des Bremsvorgangs aufgrund seiner durch Regen nasser, glatter Lederschuhsohlen vom Bremspedal ab, ein anderer aufgrund von Schneeresten an den Schuhen; beide Fahrer waren kurz zuvor ins Auto gestiegen, so dass die Schuhsohlen noch nicht getrocknet waren. Damit spielte dieser Fehler bei 0.7 % aller untersuchten Unfälle eine Rolle. Zum Vergleich: In einer Studie von Perel (1976), der über 114 000 Unfallberichte der Polizei auswertete, wurde eine Fehlbenutzung des Bremspedals nur in 0.05 % der Fälle (62 Unfälle) gefunden.

Zwei Fahrerinnen (eine Verursacherin und eine Beteiligte) traten vor einer Vollbremsung zuerst mit dem linken Fuß auf das Kupplungspedal und anschließend erst mit dem rechten Fuß auf das Bremspedal. Dadurch dass sie nicht sofort auf die Bremse traten, verschenkten sie unnötig Zeit, so dass der Anhalteweg verlängert wurde (doch auch bei korrektem Bremsen wären beide Unfälle nicht mehr vermeidbar gewesen). Auf ihr Bremsverhalten angesprochen, sagte die eine Fahrerin, dass sie es immer so mache und die andere, dass sie es so machen müsse, da sonst der Motor absterben würde. Vermutlich haben diese Fahrerinnen sich diese Verhaltensweise während ihres Führerscheinerwerbs falsch angewöhnt und später beibehalten. Es ist denkbar, dass noch weit mehr Fahrer einen solchen (kleinen) Fehler begingen, dies jedoch beim Interview nicht äußerten, da diese Verhaltensweise so stark automatisiert ist, dass sie der Erinnerung nicht zugänglich ist.

Einige Autofahrer, deren Fahrzeug kein ABS hatte, bremsten zum Unfallzeitpunkt so stark, dass die Räder blockierten. Dadurch war der Bremsweg länger, als wenn sie mit dem richtigen Bremsdruck oder durch eine Stotterbremsung gebremst hätten. Diese wenigen Unfälle sind jedoch allenfalls aus technischer Sicht interessant, da sich der verlängerte Bremsweg nur auf die Kollisionsgeschwindigkeit auswirkte – zu einer Kollision wäre es jedoch mit ABS ebenso gekommen. Interessant sind im Zusammenhang mit zu starkem Bremsen jedoch zwei Unfälle mit einem Motorrad und einem Motorroller, bei denen die Fahrer zu stark auf dem Vorderrad bremsten, wodurch sich das Fahrzeug aufstellte und die Fahrer seitlich vorn über den Lenker geschleudert wurden (die Rollerfahrerin starb an ihren durch den Unfall zugezogenen Verletzungen).

Interessant wäre es zu wissen, wie viele Fahrer in der Pre-Crash-Phase zu schwach gebremst und dadurch das Verzögerungspotenzial ihres Fahrzeugs nicht ausgenutzt haben. Leider ist diese Frage mit dem vorhandenen Datenmaterial nicht zu beantworten, da es kaum möglich ist, zu entscheiden, ob ein Fahrer zu schwach gebremst hat oder einfach nur zu spät. Auch technische Unfallrekonstruktionen können bei dieser Frage kaum Klarheit schaffen. Diese Frage, die auch für eine Beurteilung des Potenzials einer Automatischen Notbremse interessant wäre, muss daher offen bleiben.

4.6.6 Fahrerfahrung und Fertigkeiten

4.6.6.1 Einfluss der Dauer des Führerscheinbesitzes

Um zu überprüfen, welchen Einfluss die Dauer des Führerscheinbesitzes auf das Risiko einer Unfallverursachung hat, wurden die Fahrer vier verschiedenen Kategorien zugeteilt. Da anzunehmen ist, dass mit zunehmender Dauer des Führerscheinbesitzes die Fahrerfahrung zu- und damit das Unfallrisiko abnimmt, wurden die ersten drei Kategorien in Zweijahresschritten gebildet, da zu vermuten ist, dass in den ersten Jahren der Trainingseffekt am größten ist – nach über sechs Jahren hingegen, sollte jeder Fahrer routiniert fahren und anfängliche Defizite überwunden haben. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse:

Tabelle 38: Einfluss der Dauer des Führerscheinbesitzes auf die Unfallverursachung

	Dauer des Führerscheinbesitzes				Gesamt
	Bis 2 Jahre	Über 2 Jahre bis 4 Jahre	Über 4 Jahre bis 6 Jahre	Über 6 Jahre	
Verursacher	24 (70.6 %)	10 (47.6 %)	10 (76.9 %)	107 (53.5 %)	151 (56.3 %)
Beteiligte	10 (29.4 %)	11 (52.4 %)	3 (23.1 %)	93 (46.5 %)	117 (43.7 %)
Gesamt	34 (100.0 %)	21 (100.0 %)	13 (100.0 %)	200 (100.0 %)	268 (100.0 %)

In die Auswertung mit eingeschlossen wurden nur Personen, mit denen ein Interview geführt wurde, die nicht mit dem Fahrrad fuhren und die tatsächlich einen Führerschein besaßen. Drei Fahrer waren nicht im Besitz einer gültigen Fahrerlaubnis: Ein 18-jähriger befand sich noch in der Fahrausbildung und „wollte ein bisschen üben“, ein anderer mit 1.49 Promille alkoholisierter Fahrer hatte vor Jahren seine Fahrerlaubnis wegen Trunkenheit am Steuer verloren und ein 21-jähriger Fahrer hatte nie einen Führerschein erworben („So was brauche ich nicht!“).

Die Tabelle zeigt, dass Fahranfänger (Führerscheinbesitz bis zwei Jahre) deutlich mehr Unfälle verursachten als Fahrer mit mindestens sechs Jahren Fahrerfahrung; bei den Fahrern, die seit vier bis sechs Jahren in Besitz eines Führerscheins sind, sind es ähnlich viele (76.9 %). Einen Ausreißer nach unten machen jedoch Fahrer, die zwischen zwei und vier Jahren im Besitz ihres Führerscheins sind. Der Zusammenhang zwischen Dauer des Führerscheinbesitzes und Unfallverursachung ist jedoch nur auf einem 10 %-Niveau signifikant ($Chi^2(df=3, N=268) = 6.35, p<.10$) und soll daher nicht weiter interpretiert werden.

Die Dauer des Führerscheinbesitzes ist selbstverständlich stark konfundiert mit dem Alter der Fahrer. Die meisten Fahranfänger, die ihre Fahrerlaubnis nicht länger als zwei Jahre besaßen, waren 22 Jahre oder jünger – lediglich vier Fahranfänger waren älter.

4.6.6.2 Einfluss der jährlichen Fahrleistung

Die Fahrer wurden gefragt, wie viele Kilometer sie in den letzten zwölf Monaten gefahren waren. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht:

Tabelle 39: Der Einfluss der jährlichen Fahrleistung auf die Unfallverursachung

	Fahrleistung in den letzten 12 Monaten				Gesamt
	Bis 10 000 km	Über 10 000 bis 20 000 km	Über 20 000 bis 40 000	Über 40 000 km	
Verursacher	29 (60.4 %)	36 (53.7 %)	31 (50.0 %)	25 (56.8 %)	121 (54.8 %)
Beteiligte	19 (39.6 %)	31 (46.3 %)	31 (50.0 %)	19 (43.2 %)	100 (45.2 %)
Gesamt	48 (100.0 %)	67 (100.0 %)	62 (100.0 %)	44 (100.0 %)	221 (100.0 %)

Die Kategoriegrenzen wurden so gewählt, dass in jeder Kategorie etwa annähernd gleich viele Personen enthalten sind. Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, sind „Wenig-Fahrer", die nur bis zu 10 000 Kilometer pro Jahr fahren, zwar geringfügig häufiger als Verursacher in Unfälle verwickelt, insgesamt besteht jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen jährlicher Kilometerleistung und der Unfallverursachung (Chi^2(df=3, N=221) = 1.29, n.s.). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass insbesondere „Viel-Fahrer" (über 40000 Kilometer pro Jahr), die sich häufig aufgrund ihrer Fahrpraxis für die besseren Autofahrer halten, einer Fehleinschätzung unterliegen: Sie verursachten genauso häufig wie andere Autofahrer Verkehrsunfälle.

4.6.6.3 Einfluss eines früher absolvierten Fahrsicherheitstrainings

Zudem wurden die Fahrer gefragt, ob sie in der Vergangenheit einmal ein Fahrsicherheitstraining absolviert hatten. Knapp ein Viertel der Fahrer (23.4 %) bejahte diese Frage. Rund 80 % dieser Fahrer (45 von 57) waren Männer. Wie die folgende Tabelle zeigt, besteht ein Zusammenhang zwischen einem früher absolvierten Fahrsicherheitstraining und der Unfallverursachung:

Tabelle 40: Zusammenhang eines früher absolvierten Fahrsicherheitstrainings mit der Unfallverursachung

	Kein **Fahrsicherheits-training absolviert**	**Fahrsicherheits-training absolviert**	**Gesamt**
Verursacher	110 (58.8 %)	24 (42.1 %)	134 (54.9 %)
Beteiligte	77 (41.2 %)	33 (57.9 %)	110 (45.1 %)
Gesamt	187 (100.0 %)	57 (100.0 %)	244 (100.0 %)

Fahrer, die bereits einmal ein solches Training mitgemacht hatten, waren signifikant seltener die Verursacher eines Unfalls als Fahrer, die noch nie daran teilgenommen hatten (Chi^2(df=1, N=244)

= 4.93, p<.05). Fahrer ohne Fahrsicherheitstraining besaßen ein 40 % höheres Risiko, einen Verkehrsunfall zu verursachen (RR=1.40, 95%-CI [1.01; 1.94]). Dabei spielte es keine Rolle, wie lange das Fahrsicherheitstraining zurücklag. Die Arten von Unfällen, die von diesen Fahrern verursacht wurden, unterschieden sich nicht von denen der anderen Fahrer.

Die Daten lassen eine direkte kausale Schlussfolgerung naheliegend erscheinen: Durch ein Fahrsicherheitstraining verbessern die Fahrer ihre Fahrfertigkeit und verursachen *deswegen* weniger Unfälle. Es sind jedoch auch alternative Erklärungen denkbar: So könnten beispielsweise Personen, die ohnehin schon sicher und souverän Auto fahren, sich eher dazu entschließen, ein solches Training zu absolvieren, um noch besser zu werden. Eine andere Erklärungsmöglichkeit wäre, dass eher solche Personen, für die Verkehrssicherheit einen höheren Stellenwert besitzt, ein Training mitmachen; wenn sie jedoch mehr Wert auf Sicherheit legen, sind sie möglicherweise ohnehin schon vorsichtigere Autofahrer – ob mit oder ohne Kurs.

4.6.6.4 Selbsteinschätzung des eigenen Fahrkönnens

Während man ein absolviertes Fahrsicherheitstraining zumindest ansatzweise als objektives Kriterium für ein größeres Fahrkönnen in Betracht ziehen kann, ist die Selbsteinschätzung der Fahrer hinsichtlich ihres Fahrkönnens völlig subjektiv. Insofern verwundert es auch nicht, dass ein Zusammenhang mit der Unfallverursachung nicht zu finden ist.

Tabelle 41: Zusammenhang der Selbsteinschätzung des eigenen Fahrkönnens mit der Unfallverursachung

	Selbsteinschätzung des eigenen Fahrkönnens						
	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Gesamt
Verursacher	27 (51.9 %)	81 (56.6 %)	24 (55.8 %)	1 (100.0 %)	2 (100.0 %)	0 (0.0 %)	135 (56.0 %)
Beteiligte	25 (48.1 %)	62 (43.4 %)	19 (44.2 %)	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)	106 (44.0 %)
Gesamt	52 (100.0 %)	143 (100.0 %)	43 (100.0 %)	1 (100.0 %)	2 (100.0 %)	0 (100.0 %)	241 (100.0 %)

Das Risiko einer Unfallverursachung ist vollkommen unabhängig vom selbst eingeschätzten eigenen Fahrkönnen (Chi^2(df=2, N=238) = 0.35, n.s., ohne die Noten 4 bis 6, für die zu wenig Fälle

vorhanden waren).

Das interessanteste Ergebnis der obigen Tabelle ist, dass 80.9 % der befragten Fahrer sich selbst für gute oder sehr gute Autofahrer hielten. Zudem schätzen die meisten Fahrer ihr eigenes Fahrkönnen größer ein als das anderer Autofahrer. So gaben die Befragten ihrem eigenen Können durchschnittlich die Schulnote 2 (M=1.99, SD=0.63) und den anderen Fahrern durchschnittlich eine ganze Notenstufe schlechter, nämlich die Schulnote 3 (M=2.94; SD=0.78) (t-Test für gepaarte Stichproben: t(df=207) = -15.57, p<0.001).

Die Daten bestätigen die seit Langem bekannten und in Umfragen immer wieder bestätigten Befunde, wonach ca. 80 % der Autofahrer ihr eigenes Fahrkönnen für gut oder sehr gut halten, während ihre Einschätzung des Fahrkönnens anderer Autofahrer entsprechend geringer ausfällt (Echterhoff, 1991, S. 98).

4.6.6.5 Einfluss der Gewöhnung an das gefahrene Fahrzeug

Kein Fahrzeugmodell ist hinsichtlich der Bedienung wie das andere. Steigt ein Fahrer vom einen Modell auf das andere um, ist damit zu rechnen, dass die Bedienung des neues Modells von ihm ein erhöhtes Maß an kognitiver Anstrengung erfordert. Die zusätzlichen mentalen Ressourcen, die auf der fertigkeitsbasierten Ebene zur Bedienung des Fahrzeugs vonnöten sind, fehlen dadurch auf den höheren Ebenen der Fahraufgabe. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass ein Fahrer z. B. einen anderen Verkehrsteilnehmer übersieht.

Zur Überprüfung eines erhöhten Unfallrisikos wurden zwei Kategorien gebildet. Die Grenze wurde bei 14 Tagen gewählt, da davon auszugehen ist, dass ein Fahrer nach dem Umstieg auf ein neues Fahrzeug sich nach zwei Wochen so daran gewöhnt haben sollte, dass er mit der Bedienung vertraut ist.

Tabelle 42: Einfluss der Gewöhnung an das gefahrene Fahrzeug auf die Unfallverursachung

	Fahrzeug weniger als 14 Tage lang gefahren	**Fahrzeug 14 Tage und länger gefahren**	**Gesamt**
Verursacher	11 (73.3 %)	125 (54.1 %)	136 (55.3 %)
Beteiligte	4 (26.7 %)	106 (45.9 %)	110 (44.7 %)
Gesamt	15 (100.0 %)	231 (100.0 %)	246 (100.0 %)

6.1 % der interviewten Fahrer (15 von 246) waren mit ihrem Fahrzeug weniger als zwei Wochen

lang vertraut. Von diesen waren 73.3 % die Verursacher des Unfalls im Vergleich zu nur 54 % der Fahrer, die mit ihrem Fahrzeug länger vertraut waren. Der Unterschied ist jedoch nicht signifikant (Chi^2(df=1, N=246) = 2.11, n.s.). Ein generelles Risiko aufgrund mangelnder Vertrautheit mit dem Fahrzeugs ist damit nicht nachweisbar.

Allerdings gibt es Einzelfälle von Bedienungsfehlern bei der Interaktion mit dem Fahrzeug, die durch die fehlende Vertrautheit mit dem Fahrzeug begünstigt wurden. So unterlief zwei Fahrern (beide Verursacher), die das Fahrzeug weniger als zwei Wochen lang gefahren hatten, ein Bedienungsfehler (13.3 %), hingegen nur 1.9 % der Fahrer, die ihr Fahrzeug mindestens zwei Wochen lang gefahren hatten (ein Fahrer davon exakt zwei Wochen). Hier ist der Unterschied hoch signifikant (Chi^2(df=1, N=225) = 7.05, p<.01; RR=7.00, 95%-CI [1.39; 35.18]).

Bei allen drei Fahrern (einschließlich des Fahrers, der sein Fahrzeug seit genau zwei Wochen fuhr) lag der Fehler bei der Benutzung der Bremse, die stärker reagierte, als sie es gewohnt waren. Dies lässt den Schluss zu, dass zumindest das Risiko von Bedienungsfehlern bei einem ungewohnten Fahrzeug stark erhöht ist.

4.6.7 Multiple Regressionsanalyse zur Gewichtung der Einflussfaktoren

Zur Beurteilung der Frage, wie groß der Beitrag einer einzelnen Variable für das Risiko der Unfallverursachung ist, wurde eine multiple Regressionsanalyse gerechnet. In die Analyse wurden diejenigen Variablen einbezogen, für die sich bereits in der isolierten Betrachtung ein signifikantes Relatives Risiko nachweisen ließ, sowie diejenigen, bei denen in anderen Untersuchungen Einflüsse nachgewiesen wurden bzw. immer wieder diskutiert werden (z. B. Alter, Geschlecht, Fahrpraxis).

Folgende Variablen gingen als unabhängige Variablen in die Berechnung ein:

Zu geringer Sicherheitsabstand (2*), *Nicht angepasste Geschwindigkeit* (2), *Müdigkeit* (2), *Negative Emotion* (2), *Konzentration auf das Fahren* (2), *Alkoholisierung* (2), *Ausnahmeverstoß* (2), *Bekanntheit der gefahrenen Strecke* (2), *Blendung* (2), *Ablenkung durch Reiz innerhalb des Fahrzeugs* (2), *Ablenkung durch Reiz außerhalb des Fahrzeugs* (2), *Dauer des Führerscheinbesitzes* (2; Kategoriengrenze: sechs Jahre Besitzdauer), *jährliche Fahrleistung* (4; Kategoriengrenzen: bis 10 000; 10 000 bis 20 000; 20 000 bis 40 000; über 40 000 Kilometer pro Jahr), *Absolviertes Sicherheitstraining* (2), *Selbsteinschätzung des eigenen Fahrkönnens* (6), *Altersklasse* (3; Kategoriengrenzen: bis 24 Jahre; 25 bis 59 Jahre; ab 60 Jahre), *Geschlecht* (2).

* Die Zahl in Klammern hinter der Variable bezeichnet die Anzahl der Variablenausprägungen; es wurden überwiegend nachträglich dichotomisierte Variablen verwendet, wie sie bereits zuvor für die Berechnung des Relativen Risikos benutzt wurden (siehe vorangegangene Punkte 4.6.1 bis 4.6.6!).

Die abhängige Variable der multiplen linearen Regression war die Unfallverursachung („Fahrer ist

Verursacher" versus „Fahrer ist Beteiligter"). Als Berechnungsverfahren wurde die schrittweise Rückwärts-Methode verwendet, bei der mit der Lösung begonnen wird, die alle unabhängigen Variablen enthält, und dann jeweils die unabhängigen Variablen mit dem kleinsten partiellen Korrelationskoeffizienten ausgeschlossen werden, soweit der zugehörige Regressionskoeffizient nicht signifikant ist (wobei hier ein Signifikanzniveau von 0.1 zu Grunde gelegt wird). Fehlende Werte wurden durch Mittelwerte ersetzt.

Folgende Variablen wurden durch das Berechnungsverfahren aus der Regressionsgleichung ausgeschlossen:

Zu geringer Sicherheitsabstand, *Alkoholisierung*, *Ablenkung durch Reiz innerhalb des Fahrzeugs*, *Ablenkung durch Reiz außerhalb des Fahrzeugs*, *Dauer des Führerscheinbesitzes*, *jährliche Fahrleistung*, *Absolviertes Sicherheitstraining*, *Selbsteinschätzung des eigenen Fahrkönnens*, *Altersklasse*, *Geschlecht*.

Die folgende Tabelle zeigt die Variablen, die durch das Berechnungsverfahren in das Regressionsmodell aufgenommen wurden:

Tabelle 43: Koeffizienten, die in die Gleichung des multiplen, linearen Regressionsmodells aufgenommen wurden; die abhängige Variable ist die Unfallverursachung

	Nicht standardisierte Koeffizienten		**Standardisierte Koeffizienten**		
	B	**Standardfehler**	**Beta**	**t**	**p**
(Konstante)	-2.18	.37		-5.84	.000
Nicht angepasste Geschwindigkeit	.34	.05	.25	6.31	.000
Ausnahmeverstoß	.23	.07	.15	3.63	.000
Bekanntheit der gefahrenen Strecke	.30	.08	.15	3.85	.000
Blendung	.40	.12	.13	3.31	.001
Konzentration auf das Fahren	.22	.09	.10	2.44	.015
Müdigkeit	.26	.12	.09	2.16	.031
Negative Emotion	.20	.10	.09	2.13	.034

N=528

Tabelle 44: Modellzusammenfassung der multiplen linearen Regression

N	R	R-Quadrat	Korrigiertes R-Quadrat	Standardfehler des Schätzers
528	.46	.21	.20	.44

Die Überprüfung der Residuen, also der Abweichungen der beobachteten von den theoretisch zu erwartenden Werten, ergab, dass diese zufällig (also nicht systematisch) auftreten und normal verteilt sind (M=0.00; SD=.99). Mit dem Durbin-Watson-Test auf Autokorrelation wurde überprüft, ob zwischen Residuen benachbarter Fälle systematische Verbindungen bestehen. Der Test lieferte einen befriedigenden Wert von 2.25, liegt also in der Nähe von 2 (Wertebereich: 0 bis 4), so dass keine Autokorrelation vorliegt.

Die aufgeklärte Varianz ist nur mittelmäßig; Grund dafür sind v. a. die hohen Zahlen von fehlenden Werten für einige Variablen, die daher bei der Analyse durch Mittelwerte ersetzt wurden, da ein listenweiser Fallausschluss zu einem großen Verlust unvollständiger Datensätze geführt hätte, der die Ergebnisse verzerrt hätte. Daher müssen die Ergebnisse mit Vorsicht interpretiert werden. Sie sind damit zwar nicht als Vorhersagemodell für die Verursachung eines Unfalls zu gebrauchen, denn hierfür ist dieses nicht genau genug. Es ermöglicht jedoch auf Basis der standardisierten Beta-Koeffizienten eine Abschätzung der Bedeutung einzelner Risikofaktoren für die Entstehung von Unfällen.

Der mit deutlichem Abstand wichtigste Faktor für die Unfallverursachung ist die nicht angepasste Geschwindigkeit (β=.25). Erst mit deutlichem Abstand folgen Ausnahmeverstöße (β=.15), eine mangelnde Ortskenntnis (β=.15) und Sonnenblendung (β=.13). Insbesondere die beiden letztgenannten Faktoren wurden in ihrer Bedeutung bisher weit unterschätzt. Dies gilt ebenso für die Variable „Negative Emotion“ (β=.09), die damit zu den sieben wichtigsten Einflussfaktoren zählt.

Auf den ersten Blick überraschend ist, dass mangelnder Sicherheitsabstand und Alkoholisierung nicht als Koeffizienten in das Modell aufgenommen wurden. Dies ist jedoch durchaus plausibel, denn mangelnder Sicherheitsabstand ist zwar eine sehr wichtige Variable für Auffahrunfälle, aber ohne Belang für andere Unfallarten. Da das Modell für *alle* Unfallarten gilt, Auffahrunfälle hingegen nur eine Teilmenge aller Unfallarten darstellen, fällt mangelnder Sicherheitsabstand im Gesamtmodell weniger stark ins Gewicht.

Der Ausschluss der Variable „Alkoholisierung“ aus der Modellgleichung erklärt sich dadurch, dass die Variable „Ausnahmeverstoß“ mit aufgenommen wurde. Alkoholisierung ist jedoch eine Teilmenge der Ausnahmeverstöße. Die Hinzunahme der Variable „Alkoholisierung“ bringt dadurch keine zusätzliche Varianzaufklärung. Dies darf jedoch auf keinen Fall zu dem Fehlschluss verleiten, Alkoholisierung sei für die Unfallverursachung nicht relevant.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die durch die Regressionsanalyse ermittelten standardisierten Beta-Koeffizienten eine gute Abschätzung der relativen Bedeutung einzelner Risikofaktoren erlauben. Diese ist Voraussetzung für die Beurteilung der Frage, welche Maßnahmen zur Unfallprävention man ergreifen und wie man vorhandene Ressourcen einsetzen soll, um eine größtmögliche Reduzierung des Unfallrisikos zu erreichen. In Kapitel 5.4 werden die Konsequenzen dieser Ergebnisse diskutiert und geeignete Präventionsmaßnahmen vorgeschlagen (Kapitel 5.5).

4.7 Potenziale von Fahrerassistenzsystemen

4.7.1 Allgemeine Anmerkungen zur Datenauswertung des Potenzials von Fahrerassistenzsystemen

Fahrerassistenzsysteme werden – insbesondere von der Automobilindustrie – als vielversprechender Ansatz zur Reduzierung von Verkehrsunfällen angepriesen. Bislang fehlte es jedoch an empirischen Daten, die eine Abschätzung erlauben, wie groß das Unfallvermeidungspotenzial von Fahrerassistenzsystemen tatsächlich ist. In dieser Studie wurden auf der Basis der erhobenen Daten die wichtigsten derzeit in der Entwicklung befindlichen Systeme daraufhin überprüft, wie viel Prozent der untersuchten Unfälle durch ein bestimmtes Fahrerassistenzsystem vermieden werden könnten.

Die Bewertung von Assistenzsystemen erfolgte grundsätzlich immer anhand von Unfallszenarien; ein solches Szenario ist beispielsweise das unfreiwillige Abkommen von der Fahrspur – ein System, das dies verhindern könnte, ist *Lane Departure Warning*. Was nicht in die Bewertung einging, war die Frage, ob ein System *technisch* in der Lage wäre, in einer ganz konkreten Situation tatsächlich helfend einzugreifen (bei *Lane Departure Warning* wären dies z. B. bestimmte Gestaltungsmerkmale, die die Straße aufweisen muss). Wenn also z. B. ein Unfall aufgrund von Müdigkeit mitverursacht wurde, dann wurde dem verursachenden Fahrer ein Potenzial für eine Aufmerksamkeitskontrolle zugeteilt, unabhängig davon, ob die derzeit in der Entwicklung befindlichen Systeme in der Lage sind, Müdigkeit beim Fahrer zuverlässig zu erkennen.

Der konkrete Funktionsumfang und die Zuverlässigkeit solcher Systeme konnten bei der Bewertung schon deswegen nicht berücksichtigt werden, da sie sich mit zunehmendem technischen Fortschritt ständig verändern; zudem sind die einzelnen konkurrierenden Systeme der einzelnen Automobilhersteller in ihrer Funktionsfähigkeit unterschiedlich weit fortgeschritten. Im Übrigen ist es nicht das Problem der Verkehrsunfallforschung und der Verkehrspsychologie, sondern der technischen Entwicklung, wenn Fahrerassistenzsysteme in ihrem derzeitigen Entwicklungsstatus noch nicht die an sie gesetzten sicherheitstechnischen Anforderungen erfüllen.

Aus diesem Grund ist das, was in den folgenden Kapiteln aufgrund der Datenlage als Potenzial eines bestimmten Assistenzsystems bezeichnet wird, immer als ein *Maximalwert* zu verstehen. Er

bedeutet nicht, dass dadurch tatsächlich genau dieser Anteil von Unfällen vermeidbar wäre. Es bedeutet vielmehr, dass der Anteil der vermeidbaren Unfälle diesen Wert nicht überschreiten wird. Wie groß der praktische Nutzen für die Unfallprävention tatsächlich ist, hängt zum einen von der technischen Qualität eines Systems ab und zum anderen von den weiteren Risikofaktoren, die zum Unfallzeitpunkt auf den Fahrer einwirkten.

Daher wird in den folgenden Kapiteln für jedes Fahrerassistenzsystem zunächst das jeweilige Potenzial (als Maximalwert für eine Unfallvermeidung) ermittelt und im Folgenden auf weitere Unfallursachen und Kombinationen von Risikofaktoren eingegangen. Bei einigen Assistenzsystemen wird das tatsächliche Unfallvermeidungspotenzial dadurch drastisch geschmälert. Wenn beispielsweise ein Fahrer versehentlich von der Fahrbahn abkam, er jedoch zugleich mit über 1.1 Promille alkoholisiert war, kann nicht ernsthaft behauptet werden, dass *Lane Departure Warning* bei einem Fahrer in diesem verkehrsuntüchtigen Zustand einen Sicherheitsgewinn bringen könnte.

Für jedes Assistenzsystem werden im Anschluss an die Darstellung der Ergebnisse im jeweils darauf folgenden Kapitel der tatsächliche Nutzen bewertet und auf der Grundlage der Daten Empfehlungen zur Entwicklung und konkreten Gestaltung gegeben.

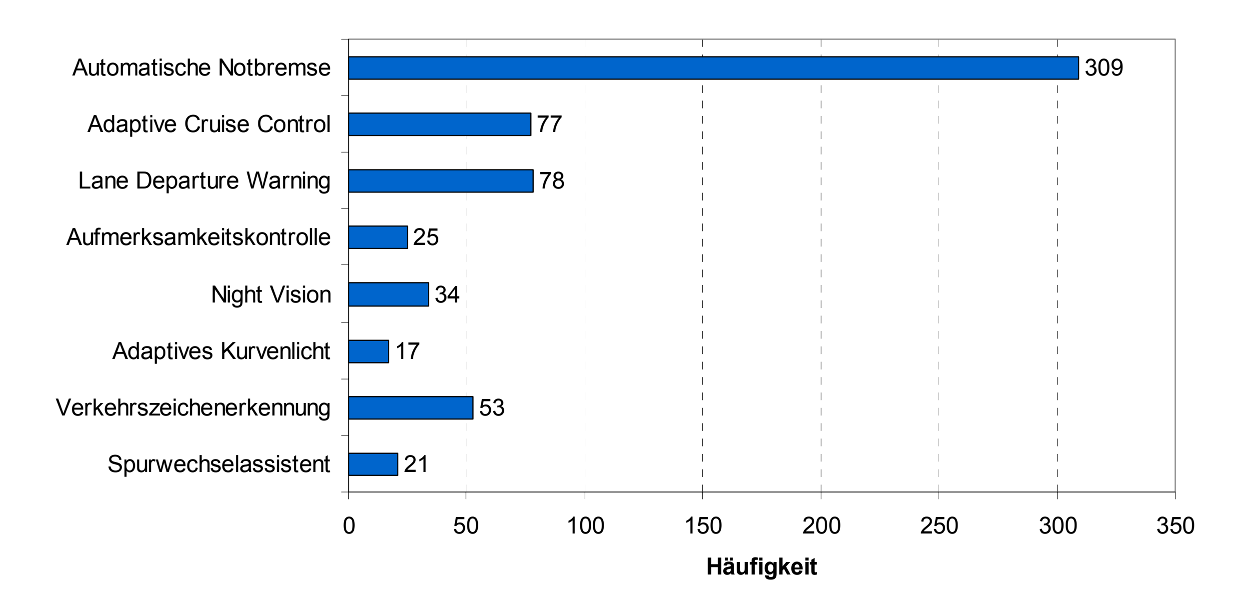


Abbildung 21: Anzahl der Fahrer, bei denen ein Fahrerassistenzsystem möglicherweise zur Vermeidung der Verkehrsunfalls beigetragen hätte. Mehrfachnennungen (mehrere Systeme pro Fahrer) sind möglich. Die Zahlen für das Potenzial einzelner Systeme sind als Maximalwerte zu verstehen. In den folgenden Kapiteln wird detailliert auf typische Unfallursachen und Kombinationen von Risikofaktoren eingegangen, durch die in der Praxis das tatsächliche Potenzial einiger Systeme teilweise deutlich nach unten korrigiert werden muss. Anzahl der untersuchten Unfälle: N=312; Anzahl der Fahrer N=528.

4.7.2 Potenzial einer Automatischen Notbremse

Von allen Fahrerassistenzsystemen ist die Automatische Notbremse dasjenige, das bei den untersuchten Unfällen am häufigsten einen positiven Effekt gehabt hätte. Fast immer, wenn zwei Fahrzeuge zusammenstoßen, könnte der Crash durch eine Automatische Notbremse verhindert bzw. abgeschwächt werden. Stoßen zwei Fahrzeuge jeweils mit ihren Fronten zusammen, wäre ein ANB-System sogar für beide Fahrzeuge von Vorteil.

Ein verunfallter Fahrer wurde dann als Fahrer mit einem Potenzial für eine Automatische Notbremse klassifiziert, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

1. Sein Fahrzeug kollidierte frontal mit einem anderen Fahrzeug
2. oder sein Fahrzeug kollidierte frontal mit einem Hindernis auf der Fahrbahn, das höher als 50 Zentimeter war (z. B. Fußgänger, Wildschwein, Rind).

Als *nicht* für eine Automatische Notbremse geeignet klassifiziert wurde der Fahrer dann, wenn sein Fahrzeug vor dem Zusammenstoß nicht mehr steuerbar war (z. B. ins Schleudern geraten), wenn es einen Seit- oder Heckaufprall hatte oder wenn die Kollision nicht auf der Straße stattfand (z. B. Baumkollision nach Abkommen von der Fahrbahn).

Keine Rolle für eine Klassifikation spielte die Zeit, die vom Auftauchen eines Kollisionsgegners im vor dem Fahrzeug liegenden Bereich bis zur Kollision verging. Das bedeutet: Auch dann, wenn ein Fahrer frontal ein anderes Fahrzeug erfasste, das von der Seite kam und unmittelbar vor ihm seine Spur kreuzte, wurde ihm dennoch ein Potenzial zugeordnet, auch wenn für derzeit in der Entwicklung befindliche Systeme diese Zeitspanne aus technischen Gründen evtl. zu kurz wäre.

Von den insgesamt 528 Fahrern dieser Studie wäre es für 309 (58.5 %) von Vorteil gewesen, wenn ihr Fahrzeug ein solches Assistenzsystem besessen hätte. Im Gegensatz zu den anderen Fahrerassistenzsystemen ist dabei die Automatische Notbremse nicht nur ein System, das dem (potenziellen) Unfallverursacher dabei hilft, einen Unfall zu vermeiden, sondern auch beim (potenziellen) Unfallbeteiligten kann ANB etwas zur Unfallvermeidung beitragen. Dies liegt daran, dass andere Assistenzsysteme bereits früher in der Pre-Crash-Phase wirken, indem sie helfen, durch Information oder Warnung des Fahrers Fehler zu vermeiden; die Automatische Notbremse hingegen greift erst im allerletzten Moment, wenn der Fehler bereits passiert ist und ein Crash unmittelbar bevorsteht.

Hierbei kann sie jedoch ebenso für den Unfallbeteiligten von Nutzen sein. Bei den untersuchten Unfällen hätten diese eine Automatische Notbremse sogar noch häufiger benötigt als die Unfallverursacher: Bei rund 67.5 % der Unfallbeteiligten hätte sie zur Unfallvermeidung bzw. Unfallfolgenabschwächung beigetragen, jedoch „nur“ bei 56.8 % der Verursacher; der Unterschied ist signifikant ($Chi^2(df=1, N=506) = 5.88$, $p<.05$). Diese leichte Ungleichverteilung dürfte v. a. zwei Ursachen haben:

Zum einen stieß fast jeder Unfallbeteiligte mit einem anderen Fahrzeug zusammen (meist mit dem Verursacher); bei den Verursachern gab es jedoch auch einen Teil mit Alleinunfällen (Unfalltyp 1, 21.8 % aller Unfälle), d. h. Unfällen, bei denen der Fahrer z. B. einfach von der Fahrbahn abkam. Diese Alleinunfälle besitzen jedoch kein Potenzial für eine Automatische Notbremse.

Zum anderen war ein relativ häufiger Unfallablauf, dass ein Fahrer (Verursacher) an einer Kreuzung oder Einmündung den querenden Verkehr passieren ließ, weil er Vorfahrt gewähren musste. Er übersah dabei jedoch ein Fahrzeug (z. B. ein von links kommendes Auto) und fuhr in die Straße ein, so dass es zur Kollision kam. Meist fuhr dann das vorfahrtsberechtigte Fahrzeug frontal mit höherer Geschwindigkeit in die Seite des anfahrenden Unfallverursachers. In diesem Fall ist der Unfallbeteiligte derjenige, in dessen Fahrzeug eine Notbremse sein hätte müssen, um den Unfall zu verhindern. Bei Unfällen an Knotenpunkten (Unfalltyp 2 und 3) liegt daher der Anteil der Unfallbeteiligten mit einem Potenzial für eine Automatische Notbremse sogar bei 75.7 % (78 von 103), der Anteil der Unfallverursacher dagegen nur bei 49.6 % (58 von 117).

Doch auch wenn eine Automatische Notbremse bei einem solchen Unfall den größten Nutzen beim vorfahrtsberechtigten Unfallbeteiligten bewirken würde, da hier die Geschwindigkeit größer ist und damit auch mehr Geschwindigkeit abgebaut werden kann, so ist unter Umständen der Nutzen dennoch beim Unfallverursacher größer. Denn bei dem beschriebenen Unfallszenario kollidierte der Unfallbeteiligte frontal mit der Fahrzeugseite des in die Vorfahrtstraße einfahrenden Verursachers; bei einer Seitenkollision ist jedoch das Verletzungsrisiko für die Insassen weitaus größer als bei einer Frontalkollision.

4.7.3 Empfehlungen für die Gestaltung einer Automatischen Notbremse

Im Vergleich zu anderen Assistenzsystemen ist die Automatische Notbremse das System mit dem größten Potenzial zur Unfallprävention. Da es voll automatisch eingreift, durch den Fahrer nicht zu übersteuern ist und damit keine Interaktion mit dem Fahrer stattfindet, ist es aus ergonomischer Sicht ohnehin relativ unproblematisch. Inwieweit es hilft, Unfälle zu vermeiden, hängt (abgesehen von der Güte der Situationserkennung) vor allem vom Kriterium ab, nach dem die Notbremsung automatisch auslöst.

Aus haftungsrechtlichen Gründen dürften die meisten Automobilhersteller sich dafür entscheiden, eine Notbremsung erst dann auszulösen, wenn ein Unfall nicht nur sehr wahrscheinlich, sondern nach den Gesetzen der Physik absolut sicher ist, so dass der Unfall dadurch nicht verhindert, sondern nur abgeschwächt wird. Denn die Sorge vor Schadensersatzklagen im Falle von Schäden durch eine zu Unrecht ausgelöste Vollbremsung ist sicherlich berechtigt. Auch wenn dieses Vorgehen aus juristischer Sicht gewiss richtig ist, so ist dies unter Sicherheitsaspekten dennoch bedauerlich (Färber & Färber, 2003, S. 20; Kopischke, 2000).

Denn eine False-Alarm-Rate von Null bedeutet auf der anderen Seite, dass dadurch ein großes

Potenzial verschenkt wird. Bei einer frühzeitigeren Auslösung können zahlreiche Unfälle verhindert und die nicht verhinderbaren in ihrer Schwere noch stärker abgemildert werden, allerdings auf Kosten von Fehlauslösungen. Vom Standpunkt der Verkehrssicherheit aus gesehen wäre es die sinnvollste Lösung, das Auslösekriterium für eine Automatische Notbremse so zu wählen, dass dadurch die Gesamtzahl an Toten und Schwerverletzten minimiert wird. Wenn dies beispielsweise bei einer False-Alarm-Rate von einem Prozent gegeben ist, dann sollte eigentlich auch in Kauf genommen werden, dass von 100 Notbremsungen eine zu Unrecht erfolgt – entscheidend ist, dass *insgesamt* das Todes- und Verletzungsrisiko minimiert wird.

Bei der Frage, in wie weit der Fahrer in einer solchen Notsituation in seinem Handeln (bzw. seinem Nicht-Handeln bei einer ausbleibenden Reaktion) von der Technik übersteuert werden darf, gehen die Meinungen stark auseinander. So schreibt z. B. Scheunemann (2004), ein entschiedener Befürworter einer automatischen Notbremsung:

> Kontroverse Diskussionen gibt es heute darüber, ob in den letzten Momenten vor einem Unfall die Elektronik durch Eingriffe in die Fahrzeugführung einen Unfall verhindern oder abschwächen darf. In Deutschland gibt es das Dogma, dass allein und jederzeit der Fahrer für sein Fahrzeug verantwortlich ist. Von diesem Dogma wollen manche Experten auch in völlig unsinnigen Situationen nicht lassen, selbst wenn ein Mensch in den letzten drei Zehntelsekunden überhaupt nicht mehr aktionsfähig ist. [...] Ähnliche Diskussionen gab es auch schon bei der Einführung des Sicherheitsgurtes. Niemand bestreitet heute, dass bei Unfällen Menschen starben, gerade weil sie angeschnallt waren. Aber wie viel mehr Verkehrstote würde es geben, wenn der Sicherheitsgurt nicht angelegt würde. (Scheunemann, 2004, S. 78)

Doch bleibt es fraglich, ob es zu solch einer rationalen Strategie der Risikominimierung kommen wird. Denn ein automatisches, frühzeitigeres Auslösen der Automatischen Notbremse setzt eine Entscheidung und ein aktives Handeln im Vorfeld der Fahrzeugentwicklung seitens des Automobilherstellers voraus. Es wird nur eine Frage der Zeit sein, bis der erste Fahrer dadurch getötet wird, weil in der Pre-Crash-Phase eine Notbremsung auslöst, obwohl (im Nachhinein gesehen) ein Beschleunigen besser gewesen wäre. Ein solches Todesopfer wird jedoch von der Öffentlichkeit als viel schlimmer angesehen als 100 Todesopfer, die deswegen starben, weil ihr Fahrzeug *keine* Automatische Notbremse hatte.

Der Grund für diese unterschiedliche Wahrnehmung liegt darin, dass im einen Fall die Technik versagt hat und der Mensch die Entscheidung getroffen hat, eine nicht perfekte Technik eine bestimmte Art und Weise einzusetzen, während im anderen Fall die 100 Toten als unabänderliches Schicksal (ähnlich wie die ca. 7000 Verkehrstoten pro Jahr) hingenommen werden, obwohl sie durch eine Notbremsung vermeidbar gewesen wären (zur Risikoakzeptanz vgl. Fischhoff & Lichtenstein, 1993; Jungermann & Slovic, 1993a und 1993b; Renn & Zwick, 1997).

Diese Besonderheit der Akzeptanz von Risiken seitens der Bevölkerung wird vermutlich dazu führen, dass das Potenzial einer Automatischen Notbremse nicht voll ausgeschöpft wird. Inwieweit diese Technik dazu benutzt wird, Unfälle zu verhindern bzw. inwieweit sie lediglich zu Milderung

von Unfallfolgen benutzt wird, hängt jedoch auch von den gesetzlichen Rahmenbedingungen ab. Der Gesetzgeber ist hier gefordert, die notwendigen rechtlichen Voraussetzungen zu schaffen, die einen Einsatz der Automatischen Notbremse im Sinne einer (wissenschaftlich nachweisbaren) Minimierung der Zahl von Verkehrsopfern ermöglicht. Nationale rechtliche Einzellösungen haben hier jedoch keinen Sinn – für europäische Automobilhersteller ist zumindest eine Regelung auf EU-Ebene nötig.

Bei der Diskussion um die Automatische Notbremse wird in der Regel immer nur davon ausgegangen, dass ein Fahrzeug aus einer mehr oder weniger hohen Geschwindigkeit plötzlich sehr stark (bis zum Stillstand) abgebremst wird. Doch Unfälle entstehen auch in anderen Situationen, wie z. B. bei folgendem Szenario:

> Ein Fahrer möchte an einer Kreuzung nach links in eine untergeordnete Straße abbiegen. Da Verkehr entgegenkommt, hält er an, um diesen passieren zu lassen. Durch einen Fehler übersieht der wartepflichtige Fahrer schließlich jedoch ein entgegenkommendes Fahrzeug, fährt an, biegt ab und es kommt zum Zusammenstoß.

Diese Unfallart (Konflikt zwischen einem Linksabbieger und einem entgegenkommenden Fahrzeug, Unfalltyp 211) ereignete sich bei den untersuchten Unfällen insgesamt in 30 Fällen. Dies entspricht 9.6 % Prozent aller Unfälle. In allen Fällen wäre hier eine Automatische Notbremse für den entgegenkommenden Unfallbeteiligten von Nutzen. Bei einer sehr späten Auslösung der Bremsung wäre allerdings der Unfall dennoch passiert, nur mit abgeschwächten Folgen.

Viel sinnvoller wäre es hingegen, den Fahrer mit der Abbiege-Absicht daran zu hindern, auf die Gegenspur des anderen Fahrzeugs zu fahren, wenn das System ein entgegenkommendes Fahrzeug erkennt, das der Fahrer offensichtlich übersieht. Einen abbiegewilligen Fahrer am Losfahren zu hindern bzw. einen mit geringer Geschwindigkeit in eine Kreuzung einfahrenden Fahrer abzubremsen, ist ohnehin unproblematischer, als einen bei einem in voller Fahrt befindlichen Fahrzeug eine Notbremsung einzuleiten. Die Abbiegeabsicht könnte das System anhand des gesetzten Blinkers erkennen.

Bei einem Notbrems-Eingriff aus sehr geringer Geschwindigkeit heraus wäre es zugleich auch leichter möglich, die Bremsung zu einem früheren Zeitpunkt auszulösen, und nicht erst dann, wenn der Unfall ohnehin nicht mehr zu verhindern ist. Die Gründe dafür sind, dass bei einer Notbremsung aus geringer Geschwindigkeit zum einen auch da das Risiko viel geringer ist, Dritte zu gefährden (z. B. Auffahrunfälle durch nachfolgende Verkehrsteilnehmer mit zu geringem Sicherheitsabstand) und zum anderen auch mit einer größeren Akzeptanz von Fehlauslösungen beim Fahrer zu rechnen ist, da die auf ihn einwirkenden Verzögerungskräfte viel geringer sind als bei einer Notbremsung aus voller Fahrt.

Aus diesem Grund sollte überdacht werden, ob ein flexibles Auslösekriterium, dessen Auslöseschwelle bei langsamer Fahrt des Fahrers niedriger als bei schneller Fahrt ist, und das auch die

beabsichtige Fahrtrichtung des Fahrers (gesetzter Blinker) in die Entscheidungsregel des Auslösealgorithmus' mit einbezieht, nicht sinnvoller ist als ein starres Auslösekriterium, das erst dann eine Notbremsung auslöst, wenn eine Kollision nach den Gesetzen der Physik nicht mehr zu verhindern ist.

Für die Beurteilung des Potenzials einer Automatischen Notbremse wurden von der Prämisse ausgegangen, dass eine Kamera nur den *vor* dem Fahrzeug liegenden Bereich erfasst. Von der Seite sich nähernde Gefahren sind damit prinzipiell nicht für das System zu detektieren. Genau diese Situationserkennung zur Seite hin wäre allerdings sehr wünschenswert, da Unfälle beim Einbiegen oder Kreuzen bei den untersuchten Unfällen rund ein Viertel (22.4 %) aller Unfälle ausmachten. Ebenso wie bei Linksabbieger-Unfällen wäre auch hier eine niedrigere Auslöseschwelle denkbar, wenn der Fahrer, der an einer Kreuzung Vorfahrt gewähren muss, nur mit geringer Geschwindigkeit rollt. Eine Automatische Notbremse mit dieser Funktionalität hätte ein enorm hohes Unfallvermeidungspotenzial.

4.7.4 Potenzial von Adaptive Cruise Control

Besser als eine Vollbremsung durch eine Automatische Notbremse im allerletzten Moment bzw. erst dann, wenn für eine Unfallvermeidung bereits zu spät ist, ist jedoch ein rechtzeitiges Reduzieren der Geschwindigkeit. Diese Funktion erfüllt der Automatische Abstandstempomat (*Adaptive Cruise Control*), wenn auch nur, um ein Auffahren auf ein vorausfahrendes Fahrzeug zu verhindern. In diesem Teilbereich ist in Zukunft auch ein Verschmelzen von *Adaptive Cruise Control* und Automatischer Notbremse denkbar.

Ein verunfallter Fahrer wurde dann als Fahrer mit einem Potenzial für *Adaptive Cruise Control* klassifiziert, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

1. Der Fahrer fuhr frontal auf das Heck eines Fahrzeugs vor ihm auf. Dabei spielte es keine Rolle, ob das Fahrzeug vor ihm zum Zeitpunkt der Kollision noch fuhr oder bereits zum Stillstand gekommen war
2. oder der Fahrer konnte *an einem Stauende* zwar selbst noch gerade rechtzeitig bremsen (z. B. durch eine Vollbremsung), doch der hinter ihm fahrende Fahrer konnte nicht mehr rechtzeitig bremsen und fährt auf sein Heck auf.

Als *nicht* für eine *Adaptive Cruise Control* geeignet klassifiziert wurde der Fahrer dann, wenn sein Fahrzeug vor dem Zusammenstoß nicht mehr steuerbar war (z. B. ins Schleudern geraten war).

Bei den untersuchten Fällen wäre ACC bei 77 von 528 Fahrern (14.6 %) von Nutzen gewesen. 20.5 % der Unfallverursachern hätten es benötigt. In einigen Fällen hätte es auch zur Unfallvermeidung beigetragen, wenn der Unfallbeteiligte (also in diesem Fall das vorausfahrende Fahrzeug, auf das der Verursacher auffährt) ebenfalls ACC besessen hätte (7.4 % der Beteiligten, Chi^2(df=1,

N=505) = 15.94, p<.001). Dies ist bei typischen Stauentstehungen der Fall, wenn auch der Vorausfahrende vom Bremsen seines Vordermanns überrascht ist und selbst noch im letzten Moment durch eine starke Bremsung zum Stehen kommt; der Nachfolgende schafft es jedoch nicht mehr bis zum Stillstand und fährt auf.

Gerade Auffahrunfälle im Stau sind ein gutes Beispiel dafür, dass die Ursache für einen Unfall oft nicht nur bei einem Fahrer allein lag, auch wenn der Auffahrende die alleinige juristische Verantwortung trug. Die Ursache lag zumeist darin, dass mehrere hintereinander fahrende Fahrzeuge zu schnell fuhren und dabei einen zu geringen Sicherheitsabstand einhielten. Trat eine Störung im Verkehrsfluss auf, konnten die vorderen Fahrzeuge noch problemlos rechtzeitig bremsen, weiter hinten befindliche Fahrzeuge kamen nur noch durch eine starke Bremsung zum Stehen und noch weiter hinten in der Reihe fahrende schafften es gar nicht mehr rechtzeitig und fuhren auf. Welches Fahrzeug schließlich auffuhr und welches es gerade noch schaffte, war dann häufig nur noch eine Frage des Zufalls.

Um solche Auffahrunfälle in einem klassischen Stau zu vermeiden, wäre es daher nicht nur für den auffahrenden Unfallverursacher von Nutzen, einen Automatischen Abstandstempomat zu besitzen, sondern ebenso für die vorausfahrenden Fahrzeuge, da dadurch ein bestimmter Sicherheitsabstand automatisch eingehalten wird, ein notwendiges Abbremsen rechtzeitig erfolgt und plötzliche Bremsreaktionen, die für nachfolgende Fahrer überraschend kommen, unwahrscheinlicher werden.

Insgesamt ereigneten sich 71 Auffahrunfälle (Typen 201, 231 sowie 601 bis 649). Der „klassische" Auffahrunfall an einem Stauende ereignete sich insgesamt 21 Mal (29.6 % aller Auffahrunfälle). Dies sind laut Unfalltypenkatalog des ISK Konflikte „zwischen einem Fahrzeug, das wegen Stau steht, verzögert oder langsam fährt, und einem auf derselben Spur nachfolgenden Fahrzeug" (Typen 611 bis 619). Sieben Unfälle ereigneten sich, weil ein Fahrer auf ein Fahrzeug auffuhr, das links abbiegen wollte und wegen Gegenverkehrs langsamer fuhr oder wartete (Typ 201), zwei Unfälle ereigneten sich, weil ein Fahrer auf einen Rechtsabbieger auffuhr (Typ 231).

24 Auffahrunfälle (33.8 %) ereigneten sich auf gerader Strecke (ohne Verkehrsknotenpunkt), *ohne* dass sich ein Stau entwickelte (Typ 601 bis 609). Die Ursache liegt hier oft nicht nur in einem zu geringen Sicherheitsabstand, sondern v. a. in einer zu hohen Geschwindigkeit des nachfolgenden Fahrzeugs. Ein Beispiel hierfür ist folgender Unfall (Fall 158):

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Fahrbahn war trocken. Die Fahrerin eines Audi Avant RS6 fuhr mit einer Geschwindigkeit von 240 bis 245 km/h (Ergebnis der Unfallrekonstruktion eines unabhängigen Gutachters) auf der Autobahn. Sie benutzte dazu den rechten von zwei vorhandenen Fahrstreifen. Dabei sah sie einen vor ihr auf derselben Spur mit 110 km/h fahrenden Klein-Lkw (Mercedes Sprinter) zu spät und fuhr ungebremst auf. Durch die Wucht des Zusammenstoßes wurde der Klein-Lkw zuerst gegen die rechte und dann gegen die linke Leitplanke geschleudert. Der Fahrer des Klein-Lkw wurde bei dem Unfall getötet.

Alle auffahrenden Fahrer solcher Unfalltypen ohne vorausgehende Stauentwicklung waren Fahrer

stärker motorisierter Fahrzeuge, d. h. Fahrzeuge der Mittelklasse (z. B. Mercedes C-Klasse, VW Passat, Audi A4), der Oberklasse sowie Sportwagen. Kein einziges dieser auffahrenden Fahrzeuge war ein Kleinwagen. Die Vermutung, dass es einen Zusammenhang zwischen hoher Motorleistung, hoher Geschwindigkeit und dem Auffahren auf langsamer fahrende Fahrzeuge gibt, liegt daher auf der Hand. Zumindest bei Fahrunfällen ist der Zusammenhang hoher Motorleistung (sowie anderer Parameter wie Höchstgeschwindigkeit des Pkw, Motorleistung und Leistungsgewicht (d. h. das Verhältnis von Fahrzeuggewicht zu Fahrzeugleistung) seit langem bekannt und klar belegt (Bock & Brühning, 1998, S. 83 ff).

Nicht angepasste Geschwindigkeit ist eine wichtige Ursache von Auffahrunfällen – etwa jeder Dritte Verursacher eines solchen Unfalls fuhr zu schnell. 69.0 % aller zu schnell fahrenden Fahrer, die in Auffahrunfälle verwickelt waren, jedoch nur 44.9 % der mit angepasster Geschwindigkeit fahrenden waren die Verursacher des Unfalls ($Chi^2(df=1, N=78) = 4.25$, $p<.05$; RR= 1.54, 95%-CI [1.04; 2.28]). Nicht angepasste Geschwindigkeit erhöht damit das Risiko, einen Auffahrunfall zu verursachen, um 54 %. Einen unzureichenden Sicherheitsabstand hielt ebenfalls etwa jeder Dritte Unfallverursacher eines Auffahrunfalls ein ($Chi^2(df=1, N=99) = 2.73$, $p<.10$; RR=1.39, 95%-CI [0.98; 1.98]). Ein mangelnder Sicherheitsabstand erhöht das Risiko, einen Auffahrunfall zu verursachen, um 39 %.

Zu diesen Zahlen muss jedoch ausdrücklich gesagt werden, dass sie mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind, da in vielen Fällen keine verlässlichen Angaben zu Geschwindigkeiten und Abständen möglich waren. Auch technische Unfallrekonstruktionen brachten hier oft nicht die erwünschte Klarheit. Dies liegt daran, dass bei der technischen Analyse meist nur die sogenannte Kollisionsgeschwindigkeit der beteiligten Fahrzeuge (d. h. die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Zusammenstoßes) zuverlässig zu ermitteln ist. Die Angabe einer Ausgangsgeschwindigkeit (d. h. Geschwindigkeit des Fahrzeugs vor einer Reaktion des Fahrers durch Zurücknehmen des Gases oder Bremsen), ist häufig nur mit einer großen Fehlertoleranz möglich.

Zudem erwiesen sich Schätzungen der interviewten Fahrer bezüglich Entfernungen (Abständen) oder Zeiten (Reaktionszeiten) häufig als sehr ungenau oder stark fehlerhaft; es traten sowohl starke Unter- als auch Überschätzungen auf (zur Problematik von Geschwindigkeitsschätzungen durch die Fahrer vgl. auch Echterhoff, 1991, S. 39 f). Aus diesem Grund konnten die Geschwindigkeiten von rund 40 % und die Sicherheitsabstände bei rund 25 % der Fahrer nicht ausgewertet werden. Zu den Risikofaktoren „nicht angepasste Geschwindigkeit“ und „mangelnder Sicherheitsabstand“ siehe auch die Punkte 4.6.1.2 und 4.6.1.3!

Bei Fahrern, die von ACC profitieren würden, sind Männer und Fahrer der mittleren Altersklasse überrepräsentiert – die Unterschiede sind jedoch nicht signifikant. Alkoholisierung spielt hingegen (im Gegensatz zu anderen Fahrerassistenzsystemen wie *Lane Departure Warning* oder *Night Vision*) keine besondere Rolle (nur drei von 77 Fahrern, 3.9 %).

Wichtige Unfallursachen von Auffahrunfällen waren Ablenkungen durch Reize innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs. Sie erklären 18 von 71 Auffahrunfällen (25.4 %). Sieben Fahrer fuhren deshalb auf ein vorausfahrendes Fahrzeug auf, weil sie z. B. durch die Bedienung der Unterhaltungselektronik oder durch Anzeigen abgelenkt waren (Chi^2(df=1, N=71) = 3.97, p<.05; RR=1.60, 95%-CI [1.32; 1.93]) und elf Fahrer, weil sie durch Dinge außerhalb des Fahrzeugs, wie z. B. andere Verkehrsteilnehmer, Passanten u. a., abgelenkt waren (Chi^2(df=1, N=72) = 6.49, p<.05; RR=1.65, 95%-CI [1.35; 2.02]). Durch Ablenkung aufgrund von Reizen innerhalb bzw. außerhalb des Fahrzeugs steigt das Risiko eines Auffahrunfalls um jeweils ca. 60 % (siehe auch die Punkte 4.6.3.2 und 4.6.3.3 „Ablenkung durch Objekte innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs“!).

Eine weitere wichtige Ursache von Auffahrunfällen ist die mangelnde Konzentration auf die Fahraufgabe. Elf von 30 Verursachern von Auffahrunfällen sagten, sie seien zum Unfallzeitpunkt nicht auf das Fahren konzentriert gewesen – jedoch kein einziger der Unfallbeteiligten (zur Dichotomisierung der Variable „Kognitive Ablenkung“ siehe Kapitel 4.6.3.5) (Chi^2(df=1, N=59) = 13.07, p<.001).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die wichtigsten Ursachen von Unfällen mit ACC-Potenzial ein zu geringer Sicherheitsabstand, eine nicht angepasste Geschwindigkeit, Ablenkung durch Reize innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs sowie kognitive Ablenkung waren.

4.7.5 Empfehlungen für die Gestaltung von Adaptive Cruise Control

Bei rund einem Fünftel aller Unfälle wäre ACC wahrscheinlich von Nutzen gewesen. Insofern kann gesagt werden, dass es ein erhebliches Potenzial zur Unfallprävention besitzt. Insbesondere bei dichtem Verkehr könnte es durch die Funktion des automatischen Abbremsens der Angewohnheit vieler Autofahrer zum dichten Auffahren entgegenwirken.

Auf der anderen Seite könnte ACC auch dazu missbraucht werden, mit sehr geringen Sicherheitsabständen zu fahren, die den Fahrer in bestimmten Situationen überfordern (z. B. bei Müdigkeit). Inwieweit ein solcher Missbrauch erfolgen wird, hängt v. a. von der konkreten Auslegung von ACC ab. Prinzipiell sollte eine sehr kurze *Time to Collision (TTC)* gar nicht wählbar sein, denn es muss davon ausgegangen werden, dass von manchen Autofahrern, insbesondere jenen mit dem Selbstbild eines „leistungsorientierten“, „sportlichen“ Fahrers, grundsätzlich der kürzeste Sicherheitsabstand („Profi-Modus“) gewählt wird – egal wie kurz er ist. Dies gilt insbesondere von dem Prozentsatz an risikofreudigen, notorischen Schnellfahrern, die ohne ACC ohnehin einen noch geringeren Sicherheitsabstand wählen würden.

Zudem ist es nicht nur von Bedeutung, wie groß der Sicherheitsabstand ist, sondern auch, wie das Fahrzeug abgebremst wird, um diesen Abstand einzuhalten. Bei sehr großen Differenzgeschwindigkeiten zwischen vorausfahrendem und nachfolgendem Fahrzeug wäre es sinnvoll, nicht erst im letzten Moment eine relativ starke Bremsung einzuleiten, sondern bereits zu einem früheren Zeitpunkt, jedoch dafür mit einer geringeren Bremskraft. Dies hat v. a. zwei Gründe:

Zum einen trägt dies zur Homogenisierung des Verkehrsflusses bei, da die Entstehung von Rückstaus aufgrund nachfolgender Fahrzeuge, die dann ebenfalls abrupter bremsen müssen reduziert wird, wodurch auch das Risiko von Auffahrunfällen im nachfolgenden Verkehr gemindert wird. Zum anderen wird dadurch die Verhaltensabsicht für andere Verkehrsteilnehmer berechenbarer, wodurch Fehlhandlungen vorgebeugt werden kann. Ein Beispiel hierfür liefert der folgende Fall:

Fall 194:

> Die Fahrerin eines Toyota Carina fuhr mit einer Geschwindigkeit von ca. 130 km/h auf der Autobahn auf der rechten von zwei vorhandenen Fahrspuren. Sie wechselte auf die linke Fahrspur, um einen vor ihr fahrenden Lkw zu überholen. Dabei sah sie weder in den Außen- noch in der Rückspiegel; zudem blinkte sie nicht. Als sie bereits vollständig auf der linken Spur fuhr, sah sie im Rückspiegel einen Audi A4 mit hoher Geschwindigkeit herannahen (ca. 180 km/h).
>
> Der Audi-Fahrer bremste erst kurz vor dem Toyota ab und betätigte die Lichthupe. Die Fahrerin des Toyota erschrak dadurch und lenkte ruckartig auf die rechte Fahrspur zurück. Dadurch schaukelte sich das stark beladene Fahrzeug (vier Personen und Reisegepäck) auf, die Fahrerin lenkte wiederum ruckartig nach links („Pendelschlag“) und verlor die Kontrolle über das Fahrzeug. Dadurch kam es mit dem von hinten kommenden Audi zur Kollision.

Abgesehen davon, dass die Hauptursache des Unfalls im Spurwechsel der Toyota-Fahrerin lag, die nicht auf den nachfolgenden Verkehr achtete, trug dennoch auch das Verhalten des Audi-Fahrers dazu bei. Die Tatsache, dass er die Zeit fand, mit der Lichthupe das vor ihm fahrende Fahrzeug aus dem Weg zu drängeln, zeigt, dass die Toyota-Fahrerin nicht plötzlich vor ihm ausscherte, so dass er sofort bremsen musste, sondern dass ihm durchaus genügend Zeit geblieben wäre, seine Geschwindigkeit frühzeitig zu reduzieren. Dennoch fuhr er zunächst ungebremst weiter und bremste dann abrupt, was bei seiner Unfallgegnerin eine Schreckreaktion bewirkte.

Durch eine entsprechend aggressive Auslegung von ACC könnten ähnliche Situationen provoziert werden. Das Beispiel zeigt, dass bei der Gestaltung eines Fahrerassistenzsystems nicht nur Fertigkeiten, Eigenschaften und Bedürfnisse des Fahrers berücksichtigt werden müssen, der ein solches System besitzt und nutzt, sondern der Straßenverkehr als Ganzes. Zur Realität im Straßenverkehr gehören jedoch beispielsweise auch Verkehrsteilnehmer mit geringeren Fähigkeiten (z. B. Fahranfänger, Fahrer mit wenig Fahrpraxis, alte Fahrer) oder einer verminderten Fahrtüchtigkeit (alkoholisierte oder übermüdete Fahrer), die für Fehler besonders anfällig sind. Aus diesem Grund ist ein frühzeitigeres, sanfteres Bremsen von ACC zu bevorzugen.

Eine andere Frage ist allerdings, inwiefern Fahrer bereit sind, eine solche Auslegung von ACC zu akzeptieren. Möglicherweise bevorzugen sie eher eine aggressivere Fahrweise mit starken Geschwindigkeitsschwankungen, die von vielen Autofahren als „sportlich“ bezeichnet wird. Die Tatsache, dass zu jedem Zeitpunkt auch mit Fehlern anderer Verkehrsteilnehmer zu rechnen ist, ist ein Umstand, der den Einsatz von ACC bei sehr hohen Geschwindigkeiten bedenklich erscheinen

lässt, da durch die Assistierung und die Entlastung von der Fahraufgabe der Fahrer eher dazu verleitet wird, sehr hohe Geschwindigkeiten auch zu fahren. Zudem steigt damit auch die Wahrscheinlichkeit anderer Unfalltypen als Auffahrunfälle (z. B. durch Abkommen von der Fahrbahn) und das Risiko schwerer Unfallfolgen an.

Die wirksamste (wenngleich auch radikalste) Art vorzubeugen, dass das Fahrerassistenzsystem ACC als Raserassistenzsystem missbraucht wird, wäre, das System ab einer bestimmten Geschwindigkeit automatisch zu deaktivieren (z. B. ab 150 km/h), da vom Standpunkt der Verkehrssicherheit aus gesehen sehr hohe Geschwindigkeiten ohnehin nicht zu verantworten sind. Der Fahrer dürfte sich dann jedoch beklagen, dass ihm ausgerechnet dann die Unterstützung durch sein Assistenzsystem versagt wird, wenn er sie am meisten bräuchte. Inwieweit er sich durch den Wegfall dieser Komfortfunktion zu einer niedrigeren Geschwindigkeit bewegen ließe, müsste in eigenen Fahrexperimenten untersucht werden.

Selbstverständlich müsste zur Vermeidung von sogenannten „Modus-Fehlern“ das automatische Deaktivieren von ACC dem Fahrer deutlich mitgeteilt werden, damit der Fahrer jederzeit im Bilde ist, in welchem Zustand sich sein Fahrzeug befindet, ob er mit einem Eingreifen von ACC rechnen kann oder nicht. Dies gilt ebenso für Situationen, in denen aus technischen Gründen die ACC-Funktionalität nicht zur Verfügung stehen kann.

Mögliche Probleme durch eine eventuelle *Unter*forderung des Fahrers durch eine permanente Assistierung sowie die sogenannte „Übernahmeproblematik“ beim Übergang vom assistierten in den nicht assistierten Zustand (z. B. wenn automatisches Bremsen nicht ausreicht und eigenes Bremsen erforderlich ist) werden in Kapitel 5.3 diskutiert.

4.7.6 Potenzial von Lane Departure Warning

Ein verunfallter Fahrer wurde dann als Fahrer mit einem Potenzial für *Lane Departure Warning* klassifiziert, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

1. Der Fahrer verursachte den Unfall dadurch, dass er ohne das Zutun eines anderen Verkehrsteilnehmers *unabsichtlich* von der Fahrbahn abkam
2. oder der Fahrer verursachte den Unfall dadurch, dass er ohne das Zutun eines anderen Verkehrsteilnehmers *unabsichtlich* von seiner Fahrspur auf eine benachbarte Fahrspur (z. B. Gegenfahrbahn) abkam und dadurch mit einem anderen Verkehrsteilnehmer kollidierte
3. oder der Fahrer kam *unabsichtlich* nur *leicht* von seiner Fahrspur ab (z. B. nach links auf die Gegenfahrbahn oder nach rechts auf das Bankett) und verriss dann nach dem Bemerken des Fehlers durch eine zu starke Lenkbewegung das Steuer, so dass er die Kontrolle über sein Fahrzeug verlor.

Als *nicht* für *Lane Departure Warning* geeignet klassifiziert wurde der Fahrer dann, wenn der Fahrer *absichtlich* von der Fahrbahn fuhr (z. B. um einem anderen Fahrzeug in der Absicht auszuweichen, dadurch schlimmere Unfallfolgen zu vermeiden), wenn er versehentlich dadurch abkam, dass er versuchte, vor einem Hindernis (z. B. Tier) auszuweichen und dadurch fehlerhaft lenkte, oder wenn er aufgrund schlechter Fahrbahnverhältnisse (z. B. Aquaplaning, Schnee- oder Eisglätte) oder eines technischen Defekts von der Fahrbahn abkam.

Für die Klassifizierung spielte es keine Rolle, ob die derzeit in der Entwicklung befindlichen Systeme technisch in der Lage wären, die Fahrbahn, auf der sich ein Unfall ereignete, zu erkennen. Das bedeutet: Ob Fahrbahnmarkierungen (Mittelleitlinie, Fahrbahnrandmarkierungen) vorhanden waren und wenn ja, in welchem Zustand sie waren (gut sichtbar, stark verwittert), spielte für die Klassifizierung keine Rolle. Die gefahrene Geschwindigkeit war ebenfalls kein Kriterium für eine Klassifikation.

Unfälle mit einem Potenzial für *Lane Departure Warning* (LDW) ereigneten sich insgesamt 78 von 312; damit ließe sich potenziell jeder vierte Unfall vermeiden. Bis auf eine Ausnahme waren alle Fahrer, die dieses System benötigt hätten, Unfallverursacher ($Chi^2(df=1, N=504) = 57.84, p<.001$). Diese LDW-Unfälle lassen sich grob in zwei Kategorien aufteilen: Unfälle, bei denen der Verursacher allein ohne Beteiligung eines Zweiten von der Straße abkommt (78.2 %), und Unfälle, bei denen der Verursacher auf die Gegenfahrbahn kommt und mit einem entgegenkommenden Fahrzeug kollidiert (20.5 %). (In einem Fall kam ein Fahrer auf der Überholspur der Autobahn zu weit nach rechts und kollidierte mit einem neben ihm fahrenden Sattelschlepper.)

Bei insgesamt 17 LDW-Unfällen (21.8 %) spielte Alkoholisierung eine Rolle. Zwei Drittel (65.4 %) aller alkoholisierten Fahrer hatten einen Unfall mit LDW-Potenzial ($Chi^2(df=1, N=504) = 52.20, p<.001$). Das Risiko für alkoholisierte Fahrer, einen Unfall durch Abkommen von der Fahrspur zu haben, ist im Vergleich zu nüchternen Fahrern fünfmal so hoch (RR=5.12, 95%-CI [3.56; 7.38]). Jeder zweite alkoholisierte Fahrer (neun von 17), der von der Fahrspur abkam, hatte einen Promillewert von mehr als 1.1 und war damit per Definition „absolut fahruntüchtig".

Fahrer, die angaben, zum Unfallzeitpunkt eher müde oder sehr müde gewesen zu sein (acht von 37 Fahrern mit LDW-Potenzial, 21.6 %), hatten im Vergleich zu Fahrern, die sich selbst als „völlig wach" bezeichneten, eine um das Fünffache erhöhte Wahrscheinlichkeit, von der Fahrspur abzukommen ($Chi^2(df=3, N=240) = 27.36, p<.001$). Insgesamt liegen zwar nur von rund jedem zweiten Fahrer, der von der Fahrspur abkam, Aussagen über seine Müdigkeit zum Unfallzeitpunkt vor (zahlreiche Fahrer dieses Unfalltyps verweigerten ein Interview oder wurden beim Unfall getötet), dennoch dürfte der Anteil von einem Fünftel müder Fahrer bei Abkommen-Unfällen den tatsächlichen Einfluss von Müdigkeit recht gut treffen. Bezieht man nicht nur Angaben der interviewten Fahrer ein, sondern zusätzlich weitere Informationen wie die Uhrzeit und Daten aus der technischen Unfallrekonstruktion, die häufig eine zuverlässige Beurteilung ermöglichen, ob ein Fahrer eingeschlafen ist (z. B. langsames Abkommen von der Fahrspur auf gerader Strecke ohne Lenk- und

Bremsreaktion), dürften die Zahlen sogar noch etwas höher liegen.

Fünf von 78 Fahrern mit LDW-Potenzial (6.4 %) kamen aufgrund einer Ohnmacht oder eines Schwächeanfalls von der Fahrbahn ab. Umgerechnet auf alle Unfälle macht diese Unfallursache einen Anteil von 1.6 % aus. Damit macht diese an sich seltene Unfallursache für den Bereich der Abkommen-Unfälle einen doch so erheblichen Anteil der Unfälle aus, dass sie bei der Diskussion um die Gestaltung von *Lane Departure Warning* nicht ignoriert werden kann.

Ein weiterer, sehr wichtiger Faktor ist in diesem Zusammenhang überhöhte Geschwindigkeit; hier gilt jedoch das in Kapitel 4.7.4 zu *Adaptive Cruise Control* Gesagte in gleicher Weise: In vielen Fällen ist der Nachweis einer überhöhten Geschwindigkeit schwierig – insbesondere bei Alleinunfällen mit Abkommen von der Fahrbahn, bei denen noch nicht einmal Zeugen vorhanden sind. Man ist daher auch hier zum Großteil auf ungefähre Schätzungen bei der Unfallrekonstruktion sowie auf Selbstauskünfte der Fahrer angewiesen.

Bei 71.7 % der Fahrer, die von der Fahrspur abkamen, war die Geschwindigkeit zu schnell (38 von 53 Fahrern; zur Dichotomisierung der Beurteilung der Geschwindigkeit siehe Kapitel 4.6.1.2!); von den Fahrern, die nicht von der Fahrbahn abkamen, fuhren lediglich halb so viele Fahrer (38.5 %) zu schnell (Chi^2(df=1, N=274) = 19.09, p<.001). Zu schnelles Fahren erhöht das Risiko eines Unfalls durch Abkommen von der Fahrbahn um das Dreifache (RR=3.11, 95%-CI [1.80; 5.38]).

Von Fahrern, die von der Fahrbahn abkamen, wurden 17.0 % (neun von 53) durch einen Reiz innerhalb des Fahrzeugs abgelenkt, hingegen nur 5.0 % der Fahrer, die nicht von der Fahrbahn abkamen (Chi^2(df=1, N=271) = 8.89, p<.01). Das Risiko, aufgrund einer Ablenkung durch Dinge im Fahrzeug (z. B. Bedienung der Unterhaltungselektronik, Blick auf Anzeigen) von der Fahrspur abzukommen, ist zweieinhalb Mal so hoch wie bei Fahrern, die dadurch nicht abgelenkt wurden (RR=2.57, 95%-CI [1.48; 4.47]). Ablenkungen durch Dinge *außerhalb* des Fahrzeugs spielen bei dieser Unfallart hingegen keine Rolle.

Hinsichtlich der Variable „Geschlecht“ besteht kein signifikanter Zusammenhang mit dem Risiko, von der Fahrbahn abzukommen; bei der Variable „Alter“ hingegen schon: junge Fahrer kamen fast doppelt so häufig von der Fahrbahn ab wie mittel alte oder ältere Fahrer (24.8 % vs. 13.6 % bzw. 13.2 %; Chi^2(df=2, N=485) = 7.53, p<.05). Die Gründe hierfür dürften v. a. in einer erhöhten Risikobereitschaft und einer geringeren Fahrerfahrung jüngerer Fahrer liegen.

4.7.7 Empfehlungen für die Gestaltung von Lane Departure Warning

Da rund ein Viertel aller Unfälle seine Ursache in einem Abkommen von der Fahrbahn hat, ist *Lane Departure Warning* (LDW) in jedem Fall ein System, das durch ein rechtzeitiges Warnen vor dem Verlassen der Fahrspur ein hohes Potenzial zur Unfallprävention besitzt. Durch das überdurchschnittlich häufige Vorhandensein bestimmter unfallfördernder Risikofaktoren sollten jedoch einige

Punkte bedacht werden:

Mehr als jeder fünfte Fahrer (21.8 %), der von der Fahrspur abkam, war alkoholisiert. Die Hälfte davon hatte einen Blutalkoholspiegel von mehr als 1.1 Promille und war damit per Definition „absolut fahruntüchtig“. Das Vorhandensein eines Spurassistenzsystems würde in diesen Fällen das eigentliche Problem nicht beseitigen, da das System in solchen Fällen nicht nur in einer einzelnen kritischen Situation mit einer Warnung eingreifen müsste, sondern häufig während einer Fahrt. *Lane Departure Warning* könnte den Fahrer vielleicht mehrmals vor einem Abkommen retten, kann aber bei einer so hohen Fehlerrate, wie sie bei einem stark betrunkenen, Schlangenlinien fahrenden Fahrer auftritt, dennoch wenig ausrichten.

Hier besteht vielmehr die Gefahr, dass Fahrer *Lane Departure Warning* als Lenkhilfe für Alkoholisierte missbrauchen und in alkoholisiertem Zustand erst recht ins Auto steigen, nach dem Motto: „Ich kann zwar nicht mehr richtig fahren, aber zum Glück hat mein Auto ja dieses Spurassistenzsystem, das mir beim Lenken hilft!“ Sicher gibt es kein Fahrerassistenzsystem, das Alkoholisierte und chronische Alkoholiker so sehr begrüßen dürften wie *Lane Departure Warning*. Eine starke Verbreitung von LDW könnte sogar dazu führen, dass in Zukunft noch mehr Fahrten unter Alkoholeinfluss stattfinden und damit auch mehr Alkohol-Unfälle verursacht werden. Denn viele Alkoholisierte, die ihr Fahrzeug stehen lassen, tun dies nicht aufgrund der erhöhten Unfallwahrscheinlichkeit, sondern aufgrund der Angst, sie könnten von der Polizei bei ihrer Trunkenheitsfahrt ertappt werden und dadurch ihren Führerschein verlieren. Sie könnten zu dem Schluss kommen, dass durch LDW-Assistenz, das Fahren von Schlangenlinien reduziert würde und damit auch die Wahrscheinlichkeit, in eine Polizeikontrolle zu geraten, geringer sei. An ihrer Fahruntüchtigkeit ändert dies jedoch trotzdem nichts.

Dies kann jedoch nicht Sinn und Zweck eines solchen Assistenzsystems sein. Fahruntüchtigen Alkoholisierten sollte grundsätzlich kein Hilfsmittel in die Hand gegeben werden, das es ihnen erleichtert, trotz ihres Zustands dennoch Auto zu fahren; mehr noch: es sollte ihnen noch nicht einmal ein Vorwand für ein solches Verhalten gegeben werden. Zu berücksichtigen ist dabei, dass ein Fahrer die Entscheidung, trotz Alkoholisierung zu fahren, in der Regel in einem betrunkenen Zustand trifft, in dem seine Selbsteinschätzung, seine Risikowahrnehmung und sein Urteilsvermögen ebenfalls beeinträchtigt sind. Warnhinweise (z. B. im Betriebshandbuch, auf das Automobilhersteller gerne verweisen), dass LDW keinen zuverlässigen Schutz vor Unfällen bietet, und daher das Fahrzeug nur in völlig fahrtüchtigem Zustand des Fahrers gefahren werden darf, werden in einer solchen Situation garantiert keine Wirkung haben.

Aus diesem Grund wäre es äußerst wünschenswert, wenn technische Vorkehrungen getroffen würden, die es verhindern, dass Alkoholisierte *Lane Departure Warning* als Lenkhilfe missbrauchen. Beispielsweise wäre es technisch kein Problem, LDW so zu programmieren, dass es sich automatisch (selbstverständlich nach einer Warnung des Fahrers) deaktiviert, wenn es erkennt, dass der Fahrer Schlangenlinien fährt. Wenn z. B. der Fahrer innerhalb einer bestimmten Zeit-

spanne (z. B. fünf Minuten) eine Anzahl von X Warnungen erhält, weil er von der Fahrspur abzukommen droht, erhält der Fahrer eine akustische Meldung darüber, dass er unsicher fährt und dadurch das Risiko eines Unfalls stark erhöht ist, und das Assistenzsystem wird automatisch deaktiviert.

Bei der Definition eines kritischen Werts innerhalb einer bestimmten Zeitspanne sollte unbedingt berücksichtigt werden, dass die Hälfte aller untersuchten Unfälle bereits in den ersten zehn Minuten nach dem Wegfahren passierten. Entscheidend bei der Diagnose eines fahruntüchtigen Zustands sollte auch nicht das Lenkverhalten an sich sein (z. B. häufige Lenkkorrekturen), sondern tatsächlich das drohende Abkommen von der Fahrbahn. Denn häufige Lenkkorrekturen können ebenfalls bei einem Fahrer auftreten, der z. B. durch eine Nebentätigkeit kurzfristig abgelenkt ist.

Durch diese Zwangsfunktion der automatischen Systemdeaktivierung wird ein Missbrauch des Systems wirksam verhindert. Der alkoholisierte Fahrer kann zwar weiterfahren, allerdings ohne Unterstützung durch das Assistenzsystem. Vom Standpunkt der Verkehrssicherheit wäre es natürlich wünschenswert, einen fahruntüchtigen Fahrer grundsätzlich am Weiterfahren zu hindern (Automatisches Anhalten am Fahrbahnrand, wo es der Verkehr zulässt, gestützt durch das Navigationssystem, automatisches Aktivieren der Warnblinkanlage, Wegfahrsperre), aber unter praktischen Aspekten ist diese Option sicher illusorisch (ganz abgesehen von der Akzeptanz durch den Fahrer).

Eine ähnliche Sicherheitsvorkehrung könnte verhindern, dass Fahrer LDW als Lenkhilfe zum Rasen benutzen. Ab einer definierten Geschwindigkeit (z. B. 150 km/h) könnte nach vorheriger Warnung das System ebenfalls deaktiviert werden (vgl. auch Kapitel 4.7.5 „Empfehlungen für die Gestaltung von *Adaptive Cruise Control*“). Eine solche Maßnahme könnte zumindest einige Fahrer dazu bewegen, mit einer niedrigeren Geschwindigkeit zu fahren, um die Sicherheitsfunktion nutzen zu können. Dem Fahrer wird durch den Entzug der Fahrerassistenz klar gemacht, dass er ganz allein für sein Handeln verantwortlich ist. Er kann damit Verantwortung auch nicht mehr auf sein Auto abschieben oder sich selbst in der trügerischen Sicherheit wiegen, die Technik werde es schon irgendwie regeln.

Obwohl ein automatisches Abschalten von LDW in den beschriebenen Situationen der Verkehrssicherheit zuträglich wäre, dürfte diese Einschränkung dennoch den meisten Fahrern nicht gefallen. Da der Fahrer für Automobilhersteller zugleich auch Kunde ist, ist es naheliegend, dass bei der konkreten Auslegung von LDW der Kundenwunsch zu Lasten der Sicherheit berücksichtigt wird. Wie dem auch sei – die Entscheidung für oder gegen solche Zwangsfunktionen wird jedenfalls zeigen, ob Fahrer und Automobilindustrie in *Lane Departure Warning* eher ein Sicherheitssystem zur Unfallprävention oder eher ein Komfortsystem zur Steigerung des Fahrspaßes sehen.

Ein weiterer wichtiger Faktor für *Lane Departure Warning* sind Unfälle durch Einschlafen oder Übermüdung. Müdigkeitsunfälle sind bei Unfällen mit LDW-Potenzial genauso häufig wie Unfälle

unter Alkoholeinfluss (je 22 %). Umgekehrt sind fast alle Unfälle, die ein Potenzial für eine Aufmerksamkeitskontrolle besitzen, zugleich auch Unfälle, bei denen der Fahrer von der Fahrspur abkam (siehe Kapitel 4.7.8, „Potenzial einer Aufmerksamkeitskontrolle“). Das bedeutet, dass es dort einen sehr großen Überschneidungsbereich gibt. Bei der Entwicklung dieser beiden Assistenzsysteme sollten daher immer beide Systeme im Zusammenhang betrachtet werden, da sich so ihr Potenzial noch besser nutzen lässt.

Zum einen können Daten der Aufmerksamkeitskontrolle benutzt werden, um bei einsetzender Müdigkeit des Fahrers LDW automatisch in einen Zustand quasi „erhöhter Alarmbereitschaft“ zu versetzen (siehe auch Kapitel 4.7.9 „Empfehlungen für die Gestaltung einer Aufmerksamkeitskontrolle“!). So könnte beispielsweise automatisch die *Time to Line Crossing (TLC)* erhöht werden; das bedeutet, dass der Fahrer bereits zu einem früheren Zeitpunkt gewarnt würde, wenn er von der Fahrbahn abzukommen droht.

Zum anderen könnte die Art des Warnsignals bzw. des Lenkeingriffs verändert werden: Je müder der Fahrer, desto stärker könnte beispielsweise eine Lenkradvibration sein. Bei einem Lenkimpuls könnte der Impuls ruppiger und für den Fahrer unangenehmer werden. Solche stärkeren Warnsignale tragen zum einen der verminderten Reaktionsfähigkeit des müden Fahrers Rechnung, zum anderen wirkt aber auch die zunehmende Heftigkeit der LDW-Reaktion als zusätzliche Warnung des Fahrers vor seiner Ermüdung. Dieses Feedback könnte möglicherweise wirksamer sein, als allgemeine Warnungen per Sprachausgabe, da es zu einem Zeitpunkt kommt, unmittelbar nach dem der Fahrer bereits einen Fehler aufgrund seiner verminderten Aufmerksamkeit begangen hat.

Im Zusammenhang mit Müdigkeit ist auch folgendes Problem bekannt: Bei einem klassischen Unfall durch Sekundenschlaf entsteht der Unfall häufig dadurch, dass der Fahrer für einen kurzen Moment einnickt und kurz darauf entweder von alleine oder durch Reifengeräusche des Autos beim Abkommen auf das Bankett wieder erwacht. Im Moment des Aufwachens ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass der Fahrer erschrickt und in Panik das Lenkrad verreißt (siehe auch Kapitel 4.6.5.1, „Verreißen des Lenkrads“!). In solchen Situationen wäre es daher sinnvoll, wenn *Lane Departure Warning* ein solches Verreißen des Lenkrads erschweren würde. Denkbar wäre z. B., dass das Lenken nur in einem bestimmten Bereich ohne Einschränkung möglich ist; bei Lenkausschlägen, die jedoch die Fahrzeugstabilität gefährden würden, könnte der Lenkreaktion des Fahrers ein erhöhter Widerstand entgegengesetzt werden.

Zu bedenken ist allerdings, dass das Fahrzeug dennoch so manövrierfähig bleiben muss, dass auch in einer Notsituation beispielsweise ein Ausweichmanöver vor einem plötzlichen Hindernis möglich ist. Eine solche Funktion sollte jedoch nicht generell zur Verfügung stehen, sondern tatsächlich nur dann, wenn eine Aufmerksamkeitskontrolle eine starke Müdigkeit erkannt hat, oder wenn das Fahrzeug bereits von der Fahrbahn abgekommen ist und z. B. mit einem Reifen im Bankett fährt. Denn in solchen Situationen ist das eigentliche Problem nicht das allmähliche Abkommen von der Fahrspur an sich, sondern das darauffolgende Verreißen des Lenkrads, das zu einem

Kontrollverlust über das Fahrzeug führen und damit auch das Risiko von Kollisionen mit dem Gegenverkehr erhöhen kann.

Bei insgesamt über einem Viertel (26.9 %) aller Abkommen-Unfälle (21 von 78) ereignete sich der Unfall auf die oben beschriebene Weise: Zuerst ein Abkommen von der Fahrbahn (meist mit den rechten Rädern auf das Bankett rechts neben der Fahrbahn, häufig in einer Linkskurve) durch Unaufmerksamkeit, Müdigkeit oder überhöhte Geschwindigkeit und danach eine plötzliche Lenkreaktion in die entgegengesetzte Richtung, wodurch der Fahrer die Kontrolle das Auto verlor (vgl. Kapitel 4.4.6, „Unfälle durch Handlungsfehler“!). Ein Beispiel für ein solches Verreißen des Lenkrads ist folgender Unfall:

Fall 58:

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Fahrbahn war trocken. Ein junger Fahrer (23 Jahre) fuhr mit einem Pkw durch eine Ortschaft. Bereits dort fiel er Zeugen durch hohe Geschwindigkeit und riskantes Überholen auf. Neben ihm saß ein gleichaltriger Beifahrer. Gegen Ende der Ortschaft, noch deutlich vor dem Schild, welches das Ende der Ortschaft anzeigte, beschleunigte er in einer leichten, langgezogenen Linkskurve stark. Bei einer Geschwindigkeit von ca. 120 km/h (Ergebnis der technischen Rekonstruktion) kam er unmittelbar nach dem Ende der Ortschaft mit beiden rechten Rädern nach rechts von der Fahrbahn ab auf das Bankett. Dort fuhr er für eine Dauer von ca. 1.5 Sekunden 43 Meter lang durch den neben der Fahrbahn befindlichen Grünstreifen und lenkte dann ruckartig nach links. Dabei kam er mit seinem Auto ins Schleudern, geriet auf die Gegenfahrbahn und kollidierte mit der rechten Fahrzeugseite mit einem entgegenkommenden Pkw.
>
> Die Fahrerin des entgegenkommenden Autos fuhr mit einer Geschwindigkeit von ca. 100 km/h. Als sie das auf ihre Fahrbahnseite schleudernde Auto sah, bremste sie zwar (Kollisionsgeschwindigkeit 70 km/h), konnte den Zusammenstoß jedoch nicht mehr verhindern. Bei dem Unfall wurden die beiden Insassen des unfallverursachenden Fahrzeugs getötet.

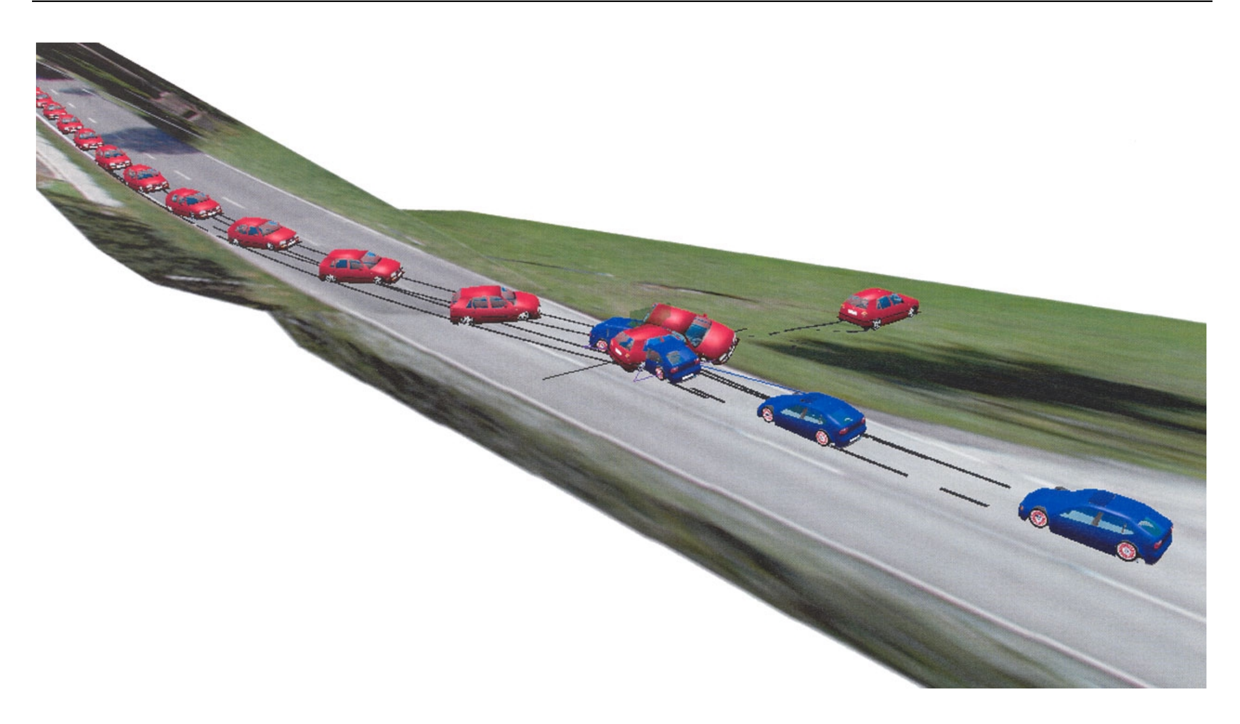


Abbildung 22: 3D-Darstellung des oben beschriebenen Unfalls durch Abkommen auf das Bankett mit anschließender Schreckreaktion.

Auch wenn in diesem Fall nur noch mit der Unfallbeteiligten und nicht mit dem Verursacher ein Interview geführt werden konnte, und daher der Grund für das Abkommen nach rechts unbekannt bleibt, so lässt sich aufgrund der Spurenlage an der Unfallstelle und der technischen Analyse dennoch der Unfallhergang gut rekonstruieren.

Durch *Lane Departure Warning* wäre dieser Unfall möglicherweise zu verhindern gewesen, da der Fahrer vor dem Abkommen eine Warnung erhalten hätte und dadurch rechtzeitig seine Fahrtrichtung hätte korrigieren können. Wäre diese Warnung wirkungslos geblieben, dann wäre jedoch eine Sicherheitsvorkehrung hilfreich gewesen, die ein Verreißen des Lenkrads verhindert hätte. Diese Funktion sollte jedoch erst dann aktiv werden, wenn das System weiß, dass der Fahrer bereits eine Fahrbahnrandmarkierung überfahren hat. Ansonsten sollten abrupte Lenkreaktionen ohne Einschränkung möglich sein, da grundsätzlich Situationen denkbar sind, in denen nur eine starke Lenkreaktion einen drohenden Unfall verhindern kann. In einer Situation wie der oben beschriebenen geht jedoch die größte Gefahr von einer Fehlreaktion des Fahrers aus und nicht von einem Weiterfahren mit den rechten Rädern im Gras.

Eine wichtige Frage bei der Entwicklung von LDW ist, auf welche Weise der Fahrer gewarnt werden soll. Die wichtigsten Lösungsvorschläge sind: Lenkradvibration, Lenkimpuls und akustische Warnung („Nagelbandrattern"). Letztlich kann diese Frage nur durch eigene Experimente im Simulator und im Versuchsfahrzeug beantwortet werden; dennoch können die vorliegenden Daten aus der Praxis einige Denkanstöße liefern:

Für einen Lenkimpuls (insbesondere, wenn er unsanft ausgelegt ist) spricht, dass er einen müden Fahrer relativ leicht aufrütteln kann – dies wäre für die rund 22 % an übermüdeten Fahrer von Vorteil. Zudem wird dem Fahrer gleichzeitig ein Hinweisreiz gegeben, in welche Richtung er zu lenken hat. Dies ist bei der bloßen Lenkradvibration nicht der Fall. Auf der anderen Seite ist es denkbar, dass ein Lenkimpuls in eine bestimmte Richtung eher zu einem Verreißen des Lenkrads führen kann als eine Lenkradvibration.

Experimente im Fahrsimulator sind hier leider nur bedingt aussagekräftig. Denn auch bei einer sehr realistischen Simulation weiß die Versuchsperson dennoch stets, dass sie in einem Simulator sitzt und dass ihr nichts passieren kann. Selbst bei Versuchspersonen, die durch die Warnung aus dem Sekundenschlaf gerissen werden, ist daher eine wirkliche Panikreaktion nicht zu erwarten. Ein Fahrsimulator kann zwar das Fahren simulieren, aber er kann keine Panikreaktion hervorrufen, die mit dem Schreck vergleichbar wäre, den ein Fahrer erfährt, wenn nachts auf der Autobahn bei 130 km/h (oder schneller) der linke Vorderreifen am Bordstein entlang kratzt oder wenn in einer Kurve auf der Landstraße plötzlich die rechten Räder im Schotter oder Gras fahren und der Fahrer weiß, dass sein Leben bedroht ist.

Dies ist grundsätzlich auch bei einer akustischen Warnung zu bedenken, die je nach dem, nach welcher Seite der Fahrer abzukommen droht, entweder aus dem linken oder aus dem rechten Lautsprecher der Stereoanlage kommt. Insofern sollte ein Warnsignal wie ein „Nagelbandrattern“ (wie es beim Überfahren der Markierungen an Baustellen entsteht) auch nicht zu realistisch klingen, sondern eher etwas entfremdet und abstrahiert.

Ein weiteres Problem an der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik ist die Gefahr der „Overreliance“. Im Fall von LDW bedeutet dies, dass der Fahrer seinem System vertraut und sich darauf verlässt, dass es jederzeit und in jeder Situation vor einem Abkommen von der Fahrbahn warnt, LDW dies jedoch gar nicht leisten kann.

Da Spurassistenzsysteme nach dem bisherigen Stand der Technik auf das Vorhandensein von Fahrbahnrandmarkierungen angewiesen sind, funktioniert es nicht auf Fahrbahnen ohne diese Markierungen (z. B. schlecht ausgebaute Ortsverbindungsstraßen auf dem Land). Technische Probleme bereiten auch Randmarkierungen, die stark verwittert sind, von Gras oder Büschen überwachsen, von Laub überdeckt oder durch einen häufigen Wechsel von Licht und Schatten für das System schwer zu erkennen sind (vgl. Kapitel 2.2.3). In solchen Fällen ist es absolut notwendig, dass der Fahrer über den Zustand seines Assistenzsystems jederzeit informiert ist, damit er sich nicht auf Unterstützung in einer kritischen Situation verlässt, wo diese (aus technischen Gründen) gar nicht geleistet werden kann.

Die Gefahr eines zu großen Vertrauens wird deutlich, wenn man sich vor Augen hält, wie Fahrer subjektiv die bauliche Gestaltung und Beschaffenheit der Fahrbahn an der Unfallstelle einschätzten. So wurden die verunfallten Fahrer gefragt, wie gut der Fahrbahnverlauf markiert war und wie

gut er erkennbar war. Ihre Einschätzungen konnten dann mit den Fotos von der Unfallstelle verglichen werden. Die folgende Grafik fasst die Beurteilungen der Befragten zusammen:

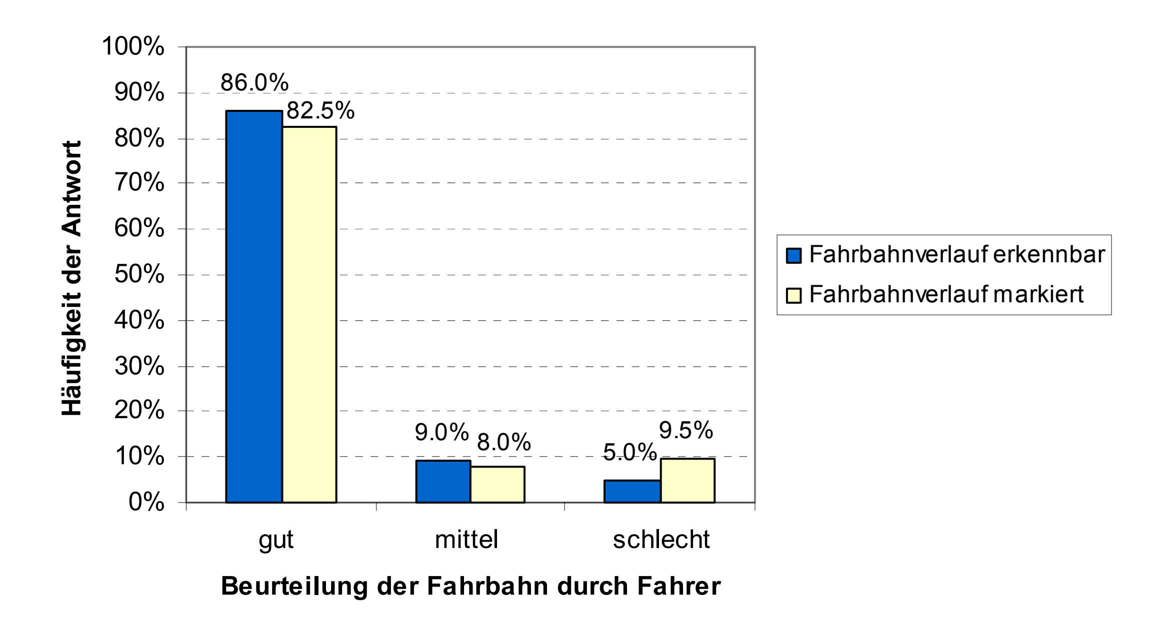


Abbildung 23: Antworten der Fahrer auf die Fragen: „Wie gut war der Verlauf der Fahrbahn erkennbar?“ und „Wie gut war der Verlauf der Fahrbahn markiert?“ Für beide Fragen: N=200

Wie die Abbildung zeigt, halten die meisten Fahrer (jeweils 86.0 % bzw. 82.5 %) den Fahrbahnverlauf gut erkennbar und gut markiert. Darunter befinden sich jedoch auch zahlreiche Unfallstellen, die beispielsweise keine Fahrbahnrandmarkierung oder keine Mittelleitlinie aufwiesen, oder bei denen Markierungen in einem schlechten, verwitterten Zustand oder von Schneeresten überdeckt waren. Ein Erkennen des Fahrbahnverlaufs durch die Software von *Lane Departure Warning* wäre in diesen Situationen schwierig bis unmöglich. In wie viel Prozent der Fälle genau LDW nicht funktioniert hätte, kann so nicht gesagt werden, da dies von der Güte der Situationserkennung des LDW-Algorithmus’ abhängig ist.

Tatsache ist jedoch: Es besteht eine große Diskrepanz zwischen dem, was ein Entwicklungsingenieur aus seiner technischen Sicht unter einer gut erkennbaren, gut markierten Straße versteht, und dem, wie ein normaler Fahrer die Straße wahrnimmt. Dies ist eigentlich auch nicht erstaunlich, denn für den Fahrer zählt lediglich der Gesamteindruck, den er von der Straße hat. Er ist im Gegensatz zu LDW nicht auf das Vorhandensein von Fahrbahnmarkierungen angewiesen. Eine klar abgegrenzte Grasnarbe am Fahrbahnrand oder ein Bürgersteig machen für ihn möglicherweise einen Fahrbahnverlauf genauso gut erkennbar. Auch empfindet er starke Licht-Schatten-Kontraste (z. B. bei einem Übergang von sonnenbeschienener Straße in ein Waldstück) nicht als Erschwernis

– für LDW kann dies jedoch ein großes Problem sein.

Hinzu kommt, dass Spurassistenzsysteme bisher eher für Straßen außerhalb von Ortschaften ausgelegt sind, da innerhalb von Ortschaften Spurwechsel (z. B. bei Abbiegevorgängen) sehr häufig sind und auch nicht (dem System) über das Setzen des Blinkers angezeigt werden. Dadurch würde es in diesen Situationen häufig zu Fehlwarnungen kommen. Auch hier kann es zu einer falschen Erwartungshaltung des Fahrers kommen.

Hierbei ist es wichtig, woher LDW „weiß“, dass das Fahrzeug sich außerhalb einer Ortschaft befindet. Hier bieten sich zwei Lösungen an: Zum einen eine Lokalisierung über Daten des Navigationssystems und zum anderen die Schätzung aufgrund des Kriteriums von einer Geschwindigkeit, die unter einer bestimmten Grenze liegt (z. B. unter 60 km/h), bzw. eine Kombination der beiden Kriterien.

Eine Kopplung von LDW an eine Mindestgeschwindigkeit hat den Nachteil, dass die Funktionalität auch außerorts manchmal plötzlich nicht zur Verfügung steht, wenn in einer bestimmten Verkehrssituation diese Geschwindigkeit unterschritten wird. Eine Kopplung an den Ort des Fahrzeugs (nur außerhalb von geschlossenen Ortschaften) hat den Nachteil, dass innerorts die Funktionalität grundsätzlich nicht zur Verfügung steht, auch wenn auf stark befahrenen Straßen höhere Geschwindigkeiten zugelassen sind. Eine Kombination aus beiden Kriterien würde dagegen wohl das System für viele Fahrer undurchschaubar machen.

Das folgende Bild zeigt die Unfallstelle eines Unfalls nach Abkommen von der Fahrbahn:



Abbildung 24: Frontalkollision mit einer Grundstücksmauer nach Abkommen von der Fahrbahn in einer Linkskurve. Unfallursachen: Stark überhöhte Geschwindigkeit, Alkoholisierung von 1.6 Promille (Restalkohol um 10:00 Uhr morgens nach einer Party), über 24 Stunden Schlafentzug, Ablenkung durch einen Streit mit dem Beifahrer (Ehemann) bei gleichzeitiger Bedienung des Radios. Hätte *Lane Departure Warning* gewarnt oder nicht?

Dieser Unfall ereignete sich innerorts bei einer Geschwindigkeitsbeschränkung von 50 km/h, die Fahrerin fuhr jedoch ca. 85-90 km/h (Ergebnis der Rekonstruktion, nach eigener Aussage sogar 100 km/h). Die Fahrbahn weist keine Fahrbahnrandmarkierung auf und der Mittelstreifen ist in einem stark verwitterten Zustand. Für LDW erschwerend hinzu kommen Lichtreflexe auf der nassen Fahrbahn. Hätte das System in dieser Situation gewarnt oder nicht?

Ob *Lane Departure Warning* in einer bestimmten Situation zu einer Warnung in der Lage ist, hängt von zahlreichen Faktoren ab. Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung, dass der Fahrer jederzeit weiß, in welchem Modus sich das System befindet, damit er nicht fälschlicherweise mit einer Unterstützung durch das System rechnet. Auf welche Weise der Fahrer über den Systemzustand informiert werden soll (z. B. optisch über Display, akustisch bei Zustandswechsel usw.), kann mit Unfall-Daten nicht beantwortet werden. Hierzu müssen eigene Experimente im Simulator und im Versuchsfahrzeug erfolgen.

An dieser Stelle sei auf die Möglichkeiten eines anderen Fahrerassistenzsystems hingewiesen, nämlich die Telematik-Steuerung (vgl. Kapitel 2.2.4). Sie überschneidet sich in der Spurhaltefunktion mit *Lane Departure Warning*. Ihr großer Vorteil ist die Unabhängigkeit von Fahrbahnmarkierun-

gen, da das Fahrzeug die Information über seine Position über das Navigationssystem (Satellit) erhält. Vielleicht wird es in Zukunft bei ausreichender Genauigkeit der Satellitenortung auf wenige Zentimeter möglich sein, beide Systeme – LDW und Telematik-Steuerung – kombiniert einzusetzen. Für den Fahrer wäre dies das Beste, weil die Spurassistenzfunktion dann ebenfalls auf unmarkierten oder schlecht markierten Straßen zur Verfügung stünde. Zudem sollte es auch nicht das Problem des Fahrers sein, stets im Bewusstsein zu behalten, in welchen Situationen sein Auto ihm bei der Spurhaltung helfen kann und in welchen nicht. Das Problem, von beabsichtigten Spurwechseln ohne Betätigung des Blinkers (z. B. innerorts oder bei niedrigen Geschwindigkeiten) bleibt jedoch auch mit einer Telematik-Steuerung erhalten.

Unter den Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn gibt es eine kleine Teilmenge von fünf Unfällen (6.4 %), denen eine besondere Bedeutung zukommt: Es sind diejenigen Fahrer, die aufgrund einer Ohnmacht bzw. eines Schwächeanfalls von der Fahrbahn abkamen. Diese Fahrer sind aufgrund ihres körperlichen Zustands handlungsunfähig. Eine bloße Warnung hätte daher in diesem Fall keinen Zweck. In diesen Fällen könnte der Unfall nur verhindert werden, wenn das Fahrzeug die Fahraufgabe selbständig übernehmen würde, das Fahrzeug in der Spur hielte und zum Stillstand brächte. Erreichbar wäre dies theoretisch durch eine Kombination mehrer Fahrerassistenzsysteme, nämlich eine Aufmerksamkeitskontrolle zur Diagnose des Fahrerzustands, ACC bzw. eine Automatische Notbremse zum Anhalten des Fahrzeugs und *Lane Departure Warning* zum vollautomatisierten Führen des Fahrzeugs in der Spur.

In einer solchen Ausnahmesituation wäre eine vollständige Automatisierung des Lenkens sinnvoll, für alle anderen Situationen, in denen ein Abkommen droht, sollte der Fahrer jedoch nur eine Warnung durch Lenkradvibration, Lenkimpuls oder akustisches Signal erhalten, die Verantwortung sollte dabei immer beim Fahrer selber liegen, um einer Unterforderung auf langen, monotonen Fahrten (z. B. auf der Autobahn) und einer „Overreliance“ und damit sinkender Aufmerksamkeit entgegenzuwirken. Zum Problem von Unfällen durch Ohnmachten siehe auch das folgende Kapitel zur Aufmerksamkeitskontrolle.

4.7.8 Potenzial einer Aufmerksamkeitskontrolle

Ein verunfallter Fahrer wurde dann als Fahrer mit einem Potenzial für eine Aufmerksamkeitskontrolle klassifiziert, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

1. Der Fahrer verursachte einen Unfall aufgrund von Sekundenschlaf
2. oder der Fahrer war nach eigener Aussage zum Unfallzeitpunkt entweder „eher müde“ oder „sehr müde“ und verursachte zugleich den Unfall dadurch, dass er eine Gefahr zu spät wahrnahm oder zu spät auf sie reagierte

3. oder der Fahrer verursachte einen Unfall aufgrund „plötzlichen körperlichen Unvermögens“, d. h. aufgrund einer Ohnmacht, Bewusstlosigkeit oder eines Schwächeanfalls.

Von den insgesamt 312 Unfällen besitzen 25 (8.0 %) ein Potenzial für eine Aufmerksamkeitskontrolle. Alle Fahrer mit einem Potenzial für dieses System waren Unfallverursacher – kein einziger ein Unfallbeteiligter. Bis auf zwei Auffahrunfälle handelt es sich bei all diesen Unfällen um Unfälle, bei denen der Fahrer von der Fahrspur abkam. Drei dieser Fahrer (12.0 %) waren zusätzlich zu ihrer Müdigkeit alkoholisiert ($Chi^2(df=1, N=464) = 5.20, p<.05$); überhöhte Geschwindigkeit spielte hingegen keine Rolle ($Chi^2(df=1, N=249) = 1.52$, n.s.).

Eine Besonderheit unter den Unfällen, die für eine Aufmerksamkeitskontrolle in Frage kommen und bei der Diskussion um dieses System meist übersehen werden, sind fünf Unfälle (also ein Fünftel der Fälle), bei denen die Unfallursache nicht in Müdigkeit oder Sekundenschlaf bestand, sondern in einem Schwächeanfall, einer Ohnmacht oder Bewusstlosigkeit, die beispielsweise durch Kreislaufprobleme oder Unterzucker bei Diabetes verursacht worden waren. Von diesen fünf Fahrern waren drei Fahrer (60.0 %) 65 Jahre und älter.

Da der Anteil von Fahrern ab 65 Jahren lediglich 7.7 % beträgt, liegt die Vermutung nahe, dass die plötzlichen Schwächeanfälle insbesondere ein Problem älterer Autofahrer sein könnten, die auch häufiger von Herz-Kreislauferkrankungen oder Diabetes betroffen sind. Müdigkeitsunfälle hingegen ereignen sich bei Fahrern aller Altersklassen. Die Daten liefern keinen Anhaltspunkt für die Annahme, dass bestimmte Altersklassen mehr oder weniger durch Einschlafen am Steuer gefährdet sind ($Chi^2(df=2, N=449) = 0.51$, n.s.)

Die meisten Müdigkeitsunfälle (rund die Hälfte; elf von 20; 55.0 %) ereigneten sich nachts zwischen 22:00 Uhr und 6:00 Uhr – hierbei insbesondere zwischen 2:00 Uhr und 4:30 Uhr (sieben Unfälle). Die folgende Grafik zeigt eine Übersicht von Unfallhäufigkeiten zu verschiedenen Tageszeiten.

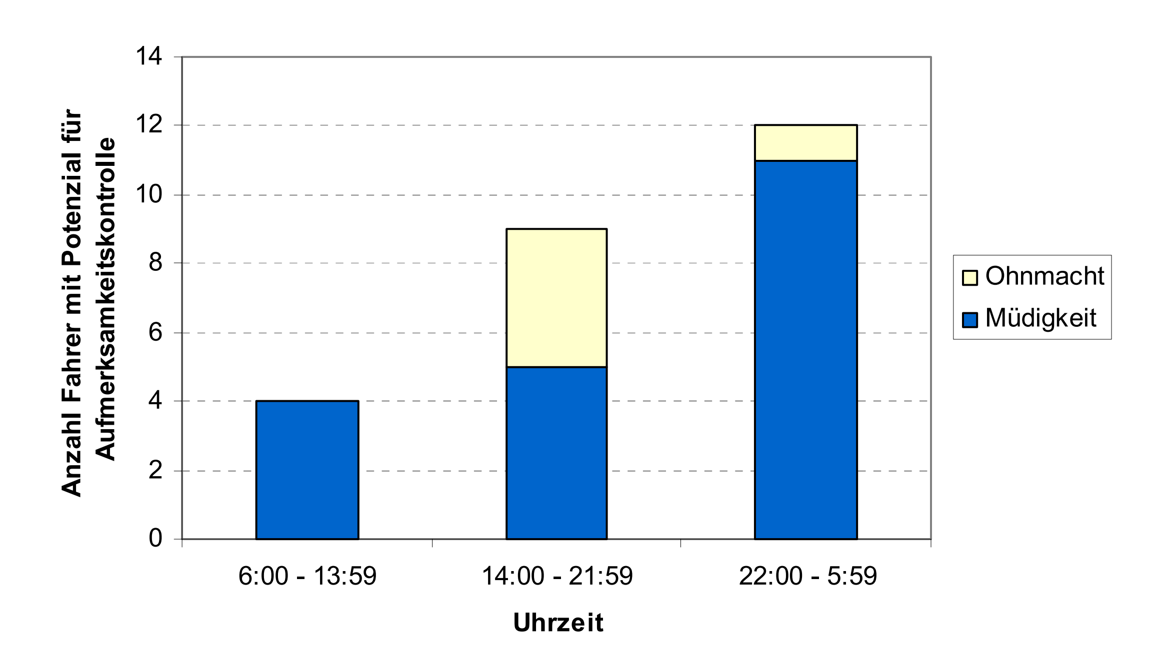


Abbildung 25: Häufigkeit von Fahrern mit einem Potenzial für Aufmerksamkeitskontrolle, abhängig von der Tageszeit

Die Abbildung zeigt jedoch auch, dass Müdigkeitsunfälle nicht nur nachts, sondern durchaus auch tagsüber (insbesondere am Nachmittag) auftreten, wenn auch nicht so häufig. Berücksichtigt man jedoch, dass sich nachts (aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens) viel weniger Verkehrsunfälle ereigneten als tagsüber (insgesamt nur 9.7 % aller Unfälle zwischen 22:00 und 6:00 Uhr), zeigt sich, dass Müdigkeit für nächtliche Unfälle eine bedeutende Einflussgröße ist. Bei jedem vierten Fahrer (26.7 %), der in dieser Zeitspanne verunfallte, hätte eine Aufmerksamkeitskontrolle ein potenzielles Wirkungsfeld, hingegen nur bei 2.3 % bzw. 3.6 % der Fahrer, die vormittags bzw. nachmittags und abends verunfallten. (Chi^2(df=2, N=464) = 44.61, p<.001). Vgl. folgende Abbildung!

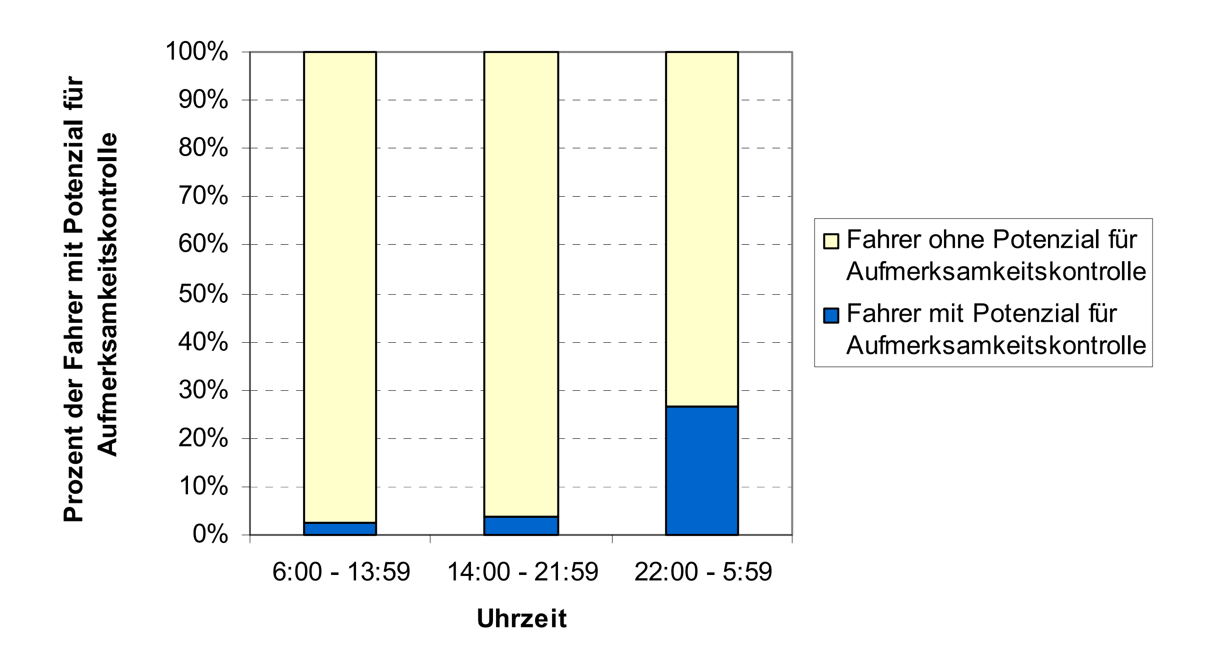


Abbildung 26: Relative Häufigkeit von Unfällen mit einem Potenzial für Aufmerksamkeitskontrolle, abhängig von der Tageszeit. Die fünf Unfälle durch Ohnmachten sind in dieser Statistik mit enthalten. Das mit Abstand größte Potenzial liegt nachts in der Zeit von 22:00 bis 6:00 Uhr mit 26.7 % aller Fahrer – in der Zeit am Vormittag bzw. am Nachmittag und Abend sind es lediglich 2.3 % bzw. 3.6 % der Fahrer. N=464.

Von den Unfällen, bei denen eine Aufmerksamkeitskontrolle einen Nutzen bringen könnte, waren einige dabei, bei denen Einschlafen oder Sekundenschlaf die einzige Ursache war. Bei diesen Fällen ist eine Aufmerksamkeitskontrolle in jedem Fall angezeigt. Bei anderen Unfällen hingegen (z. B. bei einem zu späten Erkennen einer Kurve), ist eher davon auszugehen, dass die Ursache in einer müdigkeitsbedingten Verlängerung der Reaktionszeit lag. Dazwischen liegt ein Bereich, in dem nicht klar zu sagen ist, ob ein Sekundenschlaf vorlag oder der Fahrer „nur“ sehr müde oder schläfrig war und deswegen eine Information nicht sah oder nicht mehr angemessen reagieren konnte.

Für den Nutzen einer Aufmerksamkeitskontrolle, die – je nach Müdigkeitsgrad des Fahrers – ohnehin mit einem mehrstufigen Warnsystem arbeitet, ist diese Unterscheidung jedoch zweitrangig. Entscheidend ist, dass der Fahrer müde war und eine Aufmerksamkeitskontrolle zuvor den Fahrer gewarnt hätte.

Bei insgesamt fünf Unfällen mit Potenzial für eine Aufmerksamkeitskontrolle lehnten die Fahrer ein Interview ab; daher sind dort keine Angaben über die Müdigkeit der Fahrer zum Unfallzeitpunkt vorhanden. Aus anderen Informationen wie Zeugenaussagen und Art des Unfalls (z. B. Abkommen von der Fahrbahn oder Auffahren ohne Lenk- und Bremsreaktion) lässt sich dennoch gut auf die Unfallursache zurückschließen. Ein Beispiel eines Unfalls durch Einschlafen, bei dem der unfall-

verursachende Fahrer ein Interview verweigerte, der Unfallgegner jedoch aussagte, ist folgender:

Fall 254:

> Ein Fahrer eines Lkw (Sattelschlepper) fuhr mit einer Geschwindigkeit von 85 km/h (Wert des Fahrtenschreibers) auf der Autobahn auf der rechten von zwei vorhandenen Fahrspuren. Es war nachts um 2:00 Uhr. Der Lkw-Fahrer sagte, er habe auf einmal im Außenspiegel einen Pkw von hinten ankommen sehen. Dessen Geschwindigkeit schätzte er auf 180-190 km/h. Er konnte den Pkw mehrere Sekunden lang beobachten und sah, dass der Kopf des Fahrers nach vorne hing. Dieser fuhr dann auf das Heck des Lkw auf, ohne zuvor zu lenken oder zu bremsen.

Für Einschlafen als Unfallursache spricht relativ eindeutig der nach vorne hängende Kopf des Fahrers sowie das Fehlen jeglicher Reaktion kurz vor dem Zusammenstoß. Einen kleinen Hinweis gibt selbstverständlich auch die Uhrzeit (2:00 Uhr nachts).

Eine wichtige Frage für die Beurteilung des Nutzens eines Assistenzsystems zur Müdigkeitskontrolle ist, inwieweit der verunfallte Fahrer vor dem Unfall Müdigkeit verspürte. Hier sind die Daten indifferent: Von 20 durch Müdigkeit verunfallte Fahrer gaben vier an, sehr müde gewesen zu sein, fünf eher müde, sechs eher wach und zwei völlig wach (bei drei keine Angabe). Es ist also keineswegs so, dass alle diese Fahrer vor dem Unfall auch Müdigkeit verspürten. Teilweise fühlten sie sich auch noch fahrtüchtig. Obwohl dies der Intuition widerspricht, deckt sich dieses Ergebnis dennoch mit Ergebnissen von Experimenten im Fahrsimulatoren, bei denen Versuchspersonen angeben, sich wach und fit zu fühlen, während jedoch gleichzeitig objektive Anzeichen von Müdigkeit bis hin zum Sekundenschlaf (physiologisch) messbar sind und zugleich schwere Fahrfehler auftreten (Hargutt & Tietze, 2000; Wüst, 2003).

Die folgende Grafik zeigt eine Übersicht über die Angaben zur Müdigkeit vor dem Unfall bei *allen* Fahrern (d. h. nicht nur denjenigen Fahrern, bei denen Müdigkeit für die Unfallentstehung eine Rolle spielte) in Abhängigkeit von der Tageszeit.

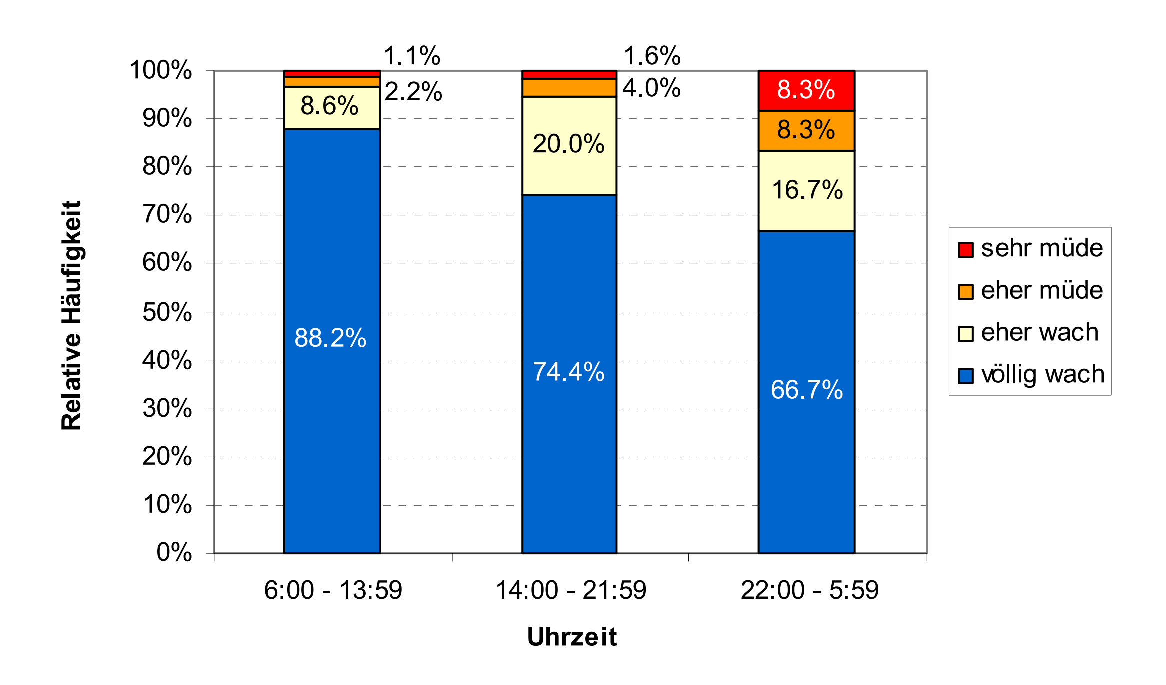


Abbildung 27: Angaben zur Müdigkeit vor dem Unfall bei allen befragten Fahrern in Abhängigkeit von der Tageszeit (N=254).

Die Angaben zur Müdigkeit in Abhängigkeit von der Tageszeit unterscheiden sich weniger als dies zu erwarten wäre. In der Nacht bezeichneten sich nicht wesentlich weniger Fahrer als völlig wach bzw. eher wach als am Nachmittag und Abend. Die entscheidende Frage ist nun, ob sie tatsächlich so wach waren, wie sie sagten, oder ob sie ihre Wachheit und Leistungsfähigkeit überschätzten. Letztendlich ist diese Frage nicht eindeutig zu klären, da keine objektiven Messdaten über den Müdigkeitszustand der Fahrer vorhanden sind. Aufgrund der aus Fahrsimulator-Experimenten bekannten Ergebnisse scheinen die Angaben der Fahrer zumindest zu einem Großteil auf eine Unterschätzung ihrer tatsächlichen Müdigkeit zurückzuführen zu sein.

Die Alternativerklärung, dass die Fahrer möglicherweise müde waren, dies aber im Interview nicht zugeben wollten, z. B. da ihnen der Zusammenhang zwischen ihrer Müdigkeit und der Unfallverursachung bewusst und ihnen dies peinlich war, scheidet definitiv aus. Das würde nämlich bedeuten, dass Fahrer, die nachts einen Unfall verursacht haben, sich häufiger als wach bezeichnen müssten, als solche, die lediglich (unschuldig) daran beteiligt waren. Genau das Gegenteil ist jedoch der Fall: Unfallbeteiligte bezeichneten sich nachts noch viel häufiger als Unfallverursacher als „völlig wach“ (91.7 % vs. 54.2 %). Unfallverursacher hingegen gaben viel häufiger zu, dass sie nachts zum Unfallzeitpunkt müde waren. Diese Daten sprechen für die ehrliche Beantwortung dieser Frage durch die Interviewten.

Ein anderer wichtiger Aspekt ist die Frage, was die Fahrer eigentlich unter der Bezeichnung „eher wach“ verstehen. Denn dies bedeutet ja zumindest, dass sie während der Fahrt nicht *völlig* wach

waren, also zumindest etwas müde waren. Es ist nicht auszuschließen, dass bei den Autofahrern eine Hemmung besteht, zuzugeben, dass sie während der Fahrt müde waren. Wenn dies zutreffen sollte, dann würden sich bereits unter „eher wachen“ Fahrern zahlreiche Personen befinden, die in einem nicht voll leistungsfähigen Zustand fahren und dadurch weniger konzentriert und anfälliger für Fehler sind.

Dies würde bedeuten, dass sich selbst unter den am Nachmittag oder am Abend Verunfallten (z. B. aufgrund des „Nachmittag-Tiefs“ oder Ermüdung auf der Rückfahrt von der Arbeit) rund ein Viertel Fahrer befinden, die während der Fahrt nicht ganz wach waren. Dies wäre ein relativ großes Potenzial für eine Aufmerksamkeitskontrolle.

Die Vorhersage von Müdigkeitsunfällen anhand von Faktoren, die mit Müdigkeit zusammenhängen, ist kaum möglich. Die für die Studie erfassten Variablen erwiesen sich als wenig aussagekräftig. Die Vorstellung beispielsweise, ein Müdigkeitsunfall würde sich nach einer langen Fahrt ereignen, ist nicht richtig: Rund 75 % der Müdigkeitsunfälle ereigneten sich in den ersten 30 Minuten nach Fahrtbeginn, genauso wie bei Unfällen, bei denen Müdigkeit keine Rolle spielte. Bei einer so kurzen Fahrtdauer erübrigt sich damit meist auch die Frage nach eingelegten Pausen.

Die Anzahl der in der Nacht zuvor geschlafenen Stunden erwies sich als ebenfalls nicht aussagekräftig, lediglich die Dauer des Schlafentzugs gibt einen Hinweis (der extremste Fall waren 26 Stunden). Die Frage, ob und wie oft sie gegähnt haben, können die allermeisten Fahrer nicht beantworten. Der stärkste erkennbare Zusammenhang zu Müdigkeitsunfällen besteht noch in der direkten Frage nach der Selbsteinschätzung der Müdigkeit und der Uhrzeit des Unfalls. Doch selbst diese Kriterien sind, wie bereits oben erläutert, nicht sonderlich genau.

4.7.9 Empfehlungen für die Gestaltung einer Aufmerksamkeitskontrolle

Die Tatsache, dass Fahrer von Müdigkeitsunfällen häufig ihre eigene Wachheit und Fahrtüchtigkeit falsch einschätzen, ist unter dem Aspekt der Entwicklung eines Assistenzsystems zur Müdigkeitserkennung eigentlich positiv zu bewerten, denn es zeigt, dass zahlreiche Fahrer ihre Müdigkeit unterschätzen und sich damit in Gefahr begeben. Ein technisches System, das in der Lage ist, anhand objektiver Kriterien wie z. B. Öffnungsgrad der Augen, Lidschlussdauer und Lidschlussfrequenz die zunehmende Müdigkeit des Fahrers zuverlässig und fehlerfrei zu diagnostizieren, wäre also sehr nützlich, da es ihnen bei der Diagnose ihres eigenen Zustands helfen könnte.

Wären alle Fahrer, die einen Müdigkeitsunfall hatten, zum Unfallzeitpunkt sehr müde gewesen, dann wäre die Entwicklung einer Aufmerksamkeitskontrolle eigentlich überflüssig. Denn dies würde bedeuten, dass sie trotz ihrer bekannten Schläfrigkeit sich dennoch ans Steuer setzten bzw. ihre Fahrt fortsetzten. Das hieße, ihr Handeln wäre planvoll und bewusst gewesen und sie hätten das damit verbundene Unfallrisiko absichtlich in Kauf genommen. Dem ist jedoch nicht so: Lediglich vier von 20 Fahrern mit Potenzial für eine Aufmerksamkeitskontrolle gaben an, „sehr müde“ gewe-

sen zu sein.

Neben der Diagnose des Fahrerzustandes hat eine Müdigkeitskontrolle jedoch noch eine zweite wichtige Aufgabe, nämlich den Fahrer abhängig vom Grad seiner Müdigkeit angemessen zu warnen und ihn zu überzeugen, bestimmte Maßnahmen gegen seine Müdigkeit zu ergreifen und gegebenenfalls auch die Fahrt zu unterbrechen oder abzubrechen. Diese Funktion kann das Assistenzsystem jedoch nur unter zwei Bedingungen erfüllen:

Erstens muss es vom Fahrer ernst genommen werden. Dies wird aber nur dann der Fall sein, wenn es auch zuverlässig ist und mit einer geringen „False-Alarm-Rate“ arbeitet. Andernfalls wird der Fahrer Warnungen des Systems nicht ernst nehmen und diese einfach ignorieren. Zweitens muss die Warnstrategie des Konzepts gut durchdacht sein, denn ein Fahrer, der das Ziel hat, spät nachts möglichst schnell nach Hause zu kommen, wird sich nicht ohne Weiteres von einem Computer überreden lassen, eine 15-minütige Pause oder ein kurzes Nickerchen einzulegen.

Aus diesem Grund muss es in jedem Fall eine mehrstufige Warnstrategie geben, bei der der Fahrer mit zunehmender Müdigkeit zuerst informiert und später immer eindringlicher gewarnt wird (Marberger & Wenzel, 2003). Genaue Aussagen darüber, wie ein solches Warnkonzept konzipiert sein muss, können jedoch nur umfangreiche Tests in Fahrsimulatoren liefern.

Die Art des Warnkonzepts wird maßgeblich über die Akzeptanz des Systems entscheiden. Insbesondere wenn der Fahrer sich durch die Sprachausgaben der Müdigkeitskontrolle bevormundet fühlt, dürfte er sie schnell abschalten. Andererseits wird es auch bei einem sehr geschickten Warnkonzept immer einen gewissen Prozentsatz an Fahrern geben, die gegen alle Ratschläge und Warnungen resistent sind. Ein Beispiel für einen solchen Fahrer liefert folgender Unfall:

Fall 209:

> Zum Unfallzeitpunkt (21:45 Uhr) war es dunkel und es regnete. Der Fahrer eines Pkw fuhr auf der linken von zwei vorhandenen Fahrspuren auf der Autobahn mit einer Geschwindigkeit von ca. 140 km/h. Mit im Auto befanden sich seine Ehefrau und seine beiden Töchter. Die Familie befand sich auf der Rückfahrt von einem Türkei-Urlaub nach Deutschland. In der Türkei war der Fahrer freitags nachts um 1:00 Uhr aufgebrochen; am Abend des darauffolgenden Tags ereignete sich der Unfall durch einen Sekundenschlaf des Fahrers.
>
> Insgesamt saß die Familie rund 45 Stunden im Auto, unterbrochen nur von einigen Pausen. Zwar wurde der Fahrer zeitweise von seiner Tochter beim Fahren abgelöst, dennoch saß er insgesamt 23 Stunden am Steuer, davon sechs Stunden lang während mehrerer Staus. In der Nacht von Freitag auf Samstag habe er nur fünfeinhalb Stunden im Auto geschlafen bzw. es versucht. Während der Fahrt habe er sich immer ein wenig mit seiner Frau unterhalten, um nicht einzuschlafen. Zum Unfallzeitpunkt selbst sei aber nichts gesprochen worden; seine Töchter schliefen auf den Rücksitzen. Seine Müdigkeit hatte er bei einer Rast mit einer Tasse löslichen Pulverkaffees zu bekämpfen versucht. Dennoch nickte er rund drei Stunden vor dem beabsichtigten Ende der Fahrt ein und verlor dadurch die Kontrolle über sein Fahrzeug.

Dieser Fahrer, der seinen Zustand zum Unfallzeitpunkt im Übrigen als „eher wach“ bezeichnete, zeigte auch nach seinem Unfall keinerlei Einsicht in die Gefährlichkeit seines Handelns. Er meinte, er sei „halt kurzzeitig nicht so konzentriert“ gewesen. Ob er sich durch die Warnungen einer Müdigkeitskontrolle hätte beeinflussen lassen, erscheint mehr als fraglich.

Speziell in diesem Fall wird auch ein sozialpsychologischer Aspekt einer Müdigkeitskontrolle deutlich: Warnmeldungen des Systems, die akustisch ausgegeben werden, sind für alle Fahrzeuginsassen zu hören. Eine Sprachausgabe, die dem Fahrer sagt, dass er sehr müde ist, und ihn dringend auffordert, eine Pause einzulegen, da er nicht mehr in der Lage ist, sein Fahrzeug sicher zu steuern, bekommen also auch alle Mitfahrenden mit. Diese Warnungen dürften deren Vertrauen in den Fahrer nicht gerade aufbauen. Daher ist davon auszugehen, dass ein Fahrer mit weiteren Insassen im Fahrzeug schon vorsorglich die Aufmerksamkeitskontrolle deaktivieren wird, um seine Mitfahrer nicht zu beunruhigen.

Dieser Aspekt gilt grundsätzlich auch für andere Fahrerassistenzsysteme, bei denen der Fahrer sich durch Warnungen, die für alle Insassen wahrnehmbar sind, als schlechter Fahrer bloßgestellt fühlen könnte. Auch ist es nicht so, dass Müdigkeitsunfälle hauptsächlich Fahrer betreffen würden, die (v. a. nachts) allein unterwegs sind; bei rund der Hälfte dieser Unfälle befanden noch weitere Personen im Fahrzeug.

Doch selbst wenn der Fahrer durch Warnungen des Systems nicht zu einem Vorgehen gegen seine Müdigkeit angehalten werden kann (z. B. durch Pausen oder Schlaf), so kann es dennoch von Nutzen sein, wenn das Fahrzeug den Zustand des Fahrers „kennt“. Denn es besteht die Möglichkeit, andere Fahrerassistenzsysteme in einen empfindlicheren Zustand zu versetzen und somit der reduzierten Leistungsfähigkeit des Fahrers Rechnung zu tragen. So kann beispielsweise für *Lane Departure Warning* die *Time to Line Crossing (TLC)* heraufgesetzt werden. Das System ist dadurch empfindlicher und gibt schon früher eine Warnung aus, wenn der Fahrer von der Fahrbahn abzukommen droht. Dem müden Fahrer bleibt damit mehr Zeit, um zu reagieren.

Ein ähnliches Vorgehen ist bei ACC möglich. Bei erkannter Müdigkeit könnte die *Time to Collision (TTC)* ebenfalls automatisch erhöht werden. Bei drohenden Auffahrunfällen (v. a. langsamer fahrende Lkw auf der Autobahn) könnte so bereits früher die Geschwindigkeit reduziert werden. Zusätzlich zum automatischen Abbremsen könnte auch rechtzeitig eine akustische Warnung ausgegeben werden, falls eine Reaktion des Fahrers ausbleibt.

Besondere Aufmerksamkeit verdienen Fahrer, die durch Ohnmachten / Schwächeanfälle den Unfall verursachten, da sie meist bei der Diskussion um eine Aufmerksamkeitskontrolle nicht beachtet werden. Bei der vorliegenden Untersuchung machten sie jedoch immerhin ein Fünftel aller Fahrer mit Potenzial für eine Aufmerksamkeitskontrolle aus. Das Problem an diesen Unfällen ist, dass eine solche Ohnmacht – je nach Ursache – oft plötzlich kommt, ohne lange vorher erkennbare Anzeichen. Dennoch könnte eine Aufmerksamkeitskontrolle prinzipiell eine solche Ohnmacht er-

kennen, z. B. an geschlossenen Augen oder einem vornüber hängenden Kopf. Die entscheidende Frage ist jedoch, was das Fahrerassistenzsystem dann mit dieser Information anfängt.

Für eine Warnung wäre es in solchen Fällen ohnehin schon zu spät, und anders als ein einschlafender Fahrer lässt sich ein ohnmächtiger nicht einfach „aufwecken". Der Fahrer ist in diesem Zustand handlungsunfähig, sein Fahrzeug fährt aber dennoch weiter, je nach Straße mit einer Geschwindigkeit von 100 km/h und mehr. Ein Beispiel eines solchen Unfalls:

Fall 274:

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell, und die Fahrbahn war trocken. Ein 65-jähriger Fahrer eines Opel Vectra (01) fuhr auf einer Landstraße. In einer langgezogenen Rechtskurve kam er aufgrund eines Schwächeanfalls allmählich von seiner Fahrspur auf die Gegenfahrbahn. Ihm entgegen kam ein Fahrer eines anderen Pkws (02). Als dieser das langsame Abkommen des Opels bemerkte, betätigte er zunächst mehrmals die Lichthupe und dann mehrmals die Hupe. Als der Opel dennoch konstant weiterfuhr, lenkte der Pkw-Fahrer (02) im letzten Moment auf die Gegenfahrbahn, um dem Opel auszuweichen, und machte eine Vollbremsung. Dennoch konnte er einen Zusammenstoß nicht mehr verhindern, so dass die Fahrzeuge jeweils mit dem rechten Kotflügeln zusammenstießen. Der Opel fuhr auch nach dem Zusammenstoß weiter und kam erst durch den Anprall an der Leitplanke zum Stehen. Bis zuletzt hatte der Opel-Fahrer weder gelenkt noch gebremst.

In einer solchen Situation wie bei diesem Schwächeanfall wäre es sinnvoll, wenn das Fahrzeug automatisch die Spur halten (*Lane Departure Warning*) und automatisch langsam zum Stehen kommen würde. Auf der Autobahn wäre es theoretisch sogar denkbar, dass das Fahrzeug automatisch auf den Pannenstreifen lenkt, anhält, die Warnblinkanlage aktiviert und einen automatischen Notruf aussendet, bei dem auf der Basis von GPS-Daten auch der Ort des Fahrzeugs übermittelt wird.

Bei einer solchen Funktionalität des Fahrzeugs wird die Grenze von der Fahrerassistenz zum automatisierten Fahren überschritten. Eine vollständige Automatisierung wird von den allermeisten Experten zu Recht äußerst kritisch gesehen. Die Gründe hierfür sind vielfältig: Die Technik funktioniert dafür nicht zuverlässig genug, der Fahrer wird aus seiner Verantwortung enthoben und haftungsrechtliche Fragen im Falle eines Unfalls durch automatisiertes Fahren sind ungeklärt – abgesehen davon, dass die meisten Autofahrer ohnehin selbst ihre Autonomie und Kontrolle behalten wollen.

Es gibt jedoch seltene Ausnahmefälle – wie z. B. den vollständigen Kontrollverlust durch eine Ohnmacht oder einen Schwächeanfall des Fahrers – bei denen dennoch eine selbständige Übernahme der Fahraufgabe durch das Fahrzeug ein geringeres Übel ist, als überhaupt nicht einzugreifen. In diesen Ausnahmefällen sollte daher eine kurzeitige Automatisierung bis zum Fahrzeugstillstand, um den Fahrer aus der Gefahrensituation zu bringen und andere Verkehrsteilnehmer nicht weiter zu gefährden, kein Tabuthema sein.

4.7.10 Potenzial von Night Vision

Ein verunfallter Fahrer wurde dann als Fahrer mit einem Potenzial für eine *Night Vision* klassifiziert, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

1. Zum Unfallzeitpunkt war es dunkel oder fast dunkel, und der Fahrer verursachte einen Unfall dadurch, weil er eine Gefahr (z. B. plötzliches bewegtes oder unbewegtes Hindernis, zu spät erkannter Fahrbahnverlauf) *aufgrund der Dunkelheit* zu spät wahrgenommen hatte,
2. oder der Fahrer nahm bei Dunkelheit eine Gefahr zu spät wahr, weil er durch Scheinwerfer eines entgegenkommenden Fahrzeugs geblendet wurde.

Als *nicht* für *Night Vision* geeignet klassifiziert wurde der Fahrer dann, wenn das zu späte Wahrnehmen einer Gefahr eindeutig nichts mit der Dunkelheit zu tun hatte, z. B. wenn dem Fahrer ein Tier unmittelbar vor das Fahrzeug lief, so dass ihm ohnehin keine Zeit zum Reagieren blieb, oder wenn er eine Gefahr zu spät erkannte, weil ihm die Sicht verdeckt oder durch einen Sekundenschlaf seine Augen geschlossen waren. Ebenfalls kein Potenzial zugeteilt wurde einem Fahrer, wenn die zu spät wahrgenommene Gefahr von hinten oder von der Seite kam (z. B. beim Einbiegen in eine Kreuzung ein sich von der Seite näherndes Fahrzeug, das nur durch einen Blick durch die Seitenfenster wahrzunehmen war).

Von den insgesamt 312 Unfällen ereigneten sich 70 bei Dunkelheit und 19 bei Dämmerung (siehe auch Kapitel 4.6.2.1, „Einfluss von Lichtverhältnissen“!). Von den 70 Dunkelheit-Unfällen besitzen 33 ein Potenzial für *Night Vision*. Dies entspricht 47.1 % aller Dunkelheit-Unfälle (33 von 70) und 10.6 % aller Unfälle insgesamt (33 von 312). Von den Dämmerungs-Unfällen käme ein Unfall für *Night Vision* in Frage. 91.2 % der Fahrer, denen *Night Vision* möglicherweise einen Nutzen gebracht hätte, waren Unfallverursacher; nur drei Fahrer waren Unfallbeteiligte ($Chi^2(df=1, N=499) = 14.51, p<.001$).

Die folgende Grafik zeigt eine Übersicht der Arten von Unfällen, die durch *Night Vision* möglicherweise zu verhindern wären.

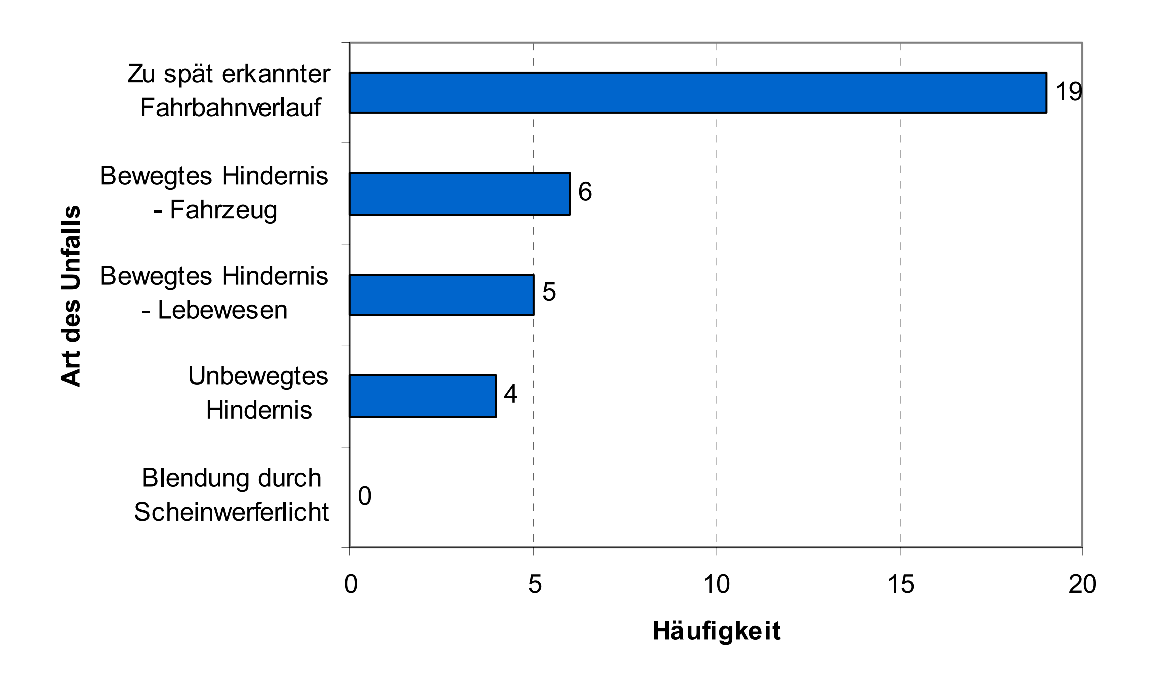


Abbildung 28: Arten von Unfällen mit *Night Vision*-Potenzial

Deutlich mehr als die Hälfte (19 von 34, 55.9 %) der Unfälle mit *Night Vision*-Potenzial wurden dadurch verursacht, dass der Fahrer den Straßenverlauf zu spät erkannte und deswegen von der Fahrbahn abkam. In sechs Fällen erkannte der Fahrer ein anderes Fahrzeug zu spät (Auffahrunfall auf ein langsamer fahrendes Fahrzeug, z. B. Lkw), in fünf weiteren Fällen bestand das zu spät erkannte Hindernis in einem Lebewesen auf der Fahrbahn (zwei Unfälle mit Fußgängern und drei Unfälle wegen Wildwechsel; zu Wild-Unfällen vgl. auch die Punkte 4.4.6, „Unfälle durch Handlungsfehler“ und 4.6.5.1, „Verreißen des Lenkrads“!). Bei vier Fällen verursachte ein zu spät erkanntes, unbewegtes Hindernis den Unfall (z. B. verlorene Ladung oder ein geplatzter Lkw-Reifen auf der Fahrbahn). Unfälle, die dadurch entstanden, dass ein Fahrer durch das Scheinwerferlicht eines entgegenkommenden Fahrzeugs geblendet wurde (was durch den Blick auf das *Night Vision*-Display zu vermeiden wäre), kamen überhaupt nicht vor. Ein Beispiel für Unfall mit *Night Vision*-Potenzial:

Fall 235:

> Zum Unfallzeitpunkt (21:40) war es dunkel und die Fahrbahn war trocken. Der Fahrer eines Audi A4 (2.5 TDI Quattro) fuhr auf einer ihm gut bekannten Landstraße. Seine Geschwindigkeit betrug nach eigener Aussage ca. 110 km/h. Das Fernlicht hatte er wegen eines kurz zuvor entgegenkommenden Pkws ausgeschaltet und fuhr daher zum Unfallzeitpunkt nur mit Abblendlicht. In einer leichten Rechtskurve habe er plötzlich die Konturen eines Rindes auftauchen sehen. Er habe sofort eine Vollbremsung gemacht – gelenkt habe er nicht. Mit dem Beginn des Bremsens stieß sein Fahrzeug jedoch sofort mit dem Rind zusammen.

> Bei dem Rind handelte es sich um ein Galloway-Rind, das von rechts kommend auf die Fahrbahn trat. Es war aus einem Gehege entlaufen, das laut Polizei mutwillig geöffnet worden war. Nach den Angaben des Rinderbesitzers habe nach seiner Vermutung ein böswilliger Nachbar das Tor geöffnet, um ihm zu schaden. Dieser Verdacht ist jedoch nicht zu beweisen.

Dieses Beispiel ist zwar besonders anschaulich und verdeutlicht den Nutzen eines *Night Vision*-Systems – dennoch war es aufgrund seiner Monokausalität eher die Ausnahme. Beim zu späten Erkennen von Straßenverläufen und Hindernissen in der Dunkelheit kamen fast immer weitere wichtige Kofaktoren hinzu, die einen bedeutenden Anteil an der Entstehung des Unfalls hatten. So waren beispielsweise bei zwölf von 34 Unfällen (35.3 %) die Fahrer alkoholisiert – acht Fahrer (23.5 % aller Fahrer mit *Night Vision* Potenzial) davon hatten mehr als 1.1 Promille Alkohol im Blut und waren damit per Definition „absolut fahruntüchtig".

Ein weiterer Faktor ist die Übermüdung am Steuer: Von den 34 *Night Vision*-Unfällen kommen auch sieben davon für die Aufmerksamkeitskontrolle in Frage. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da viele Dunkelheit-Unfälle nachts geschehen, wenn die Fahrer auch zugleich ermüdet sind. 18.8 % dieser Fahrer waren laut eigener Aussage zum Unfallzeitpunkt „eher müde" oder „sehr müde" (Unfälle durch Sekundenschlaf sind darin jedoch per Definition nicht enthalten, siehe oben!), hingegen nur 5.4 % der Fahrer, für die ein *Night Vision*-System nicht in Frage kommt.

Ein dritter – jedoch schwierig zu ermittelnder Faktor – ist eine nicht angepasste Geschwindigkeit. Angaben des Fahrers sind hier oft nicht sehr zuverlässig, da viele Fahrer dazu neigen, ihre tatsächlich gefahrene Geschwindigkeit – sofern sie diese überhaupt wissen – niedriger anzugeben, als sie in Wirklichkeit war. Technische Unfallrekonstruktionen können zwar die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt der Kollision relativ genau ermitteln, jedoch nicht die sogenannte Ausgangsgeschwindigkeit, d. h. die ursprüngliche Geschwindigkeit, die der Fahrer vor dem Bremsen hatte, da der genaue Zeitpunkt der Reaktion sowie die Stärke der Bremsung nicht bekannt sind. Aus diesem Grund erfolgte grundsätzlich bei der Auswertung die Beurteilung der Angemessenheit der Geschwindigkeit sehr vorsichtig. Wo eine Einschätzung nicht sicher möglich war, wurde diese gar nicht vorgenommen, um Interpretationen nicht auf bloße Vermutungen stützen zu müssen.

Zumindest bei 21 von 34 Unfällen kann aufgrund von Aussagen der Fahrer, Unfallzeugen oder Unfallrekonstruktionen sicher gesagt werden, dass die gefahrene Geschwindigkeit zu schnell war (von sogar bei 14 Fällen „viel zu schnell"). Daneben ist eine hohe Dunkelziffer an überhöhter Geschwindigkeit als Unfallursache zu vermuten, die bei einzelnen Unfallhergängen naheliegend erscheint, jedoch nicht durch Daten klar belegbar ist. Berücksichtigt man nur die Unfälle, bei denen eine sichere Beurteilung der Geschwindigkeit möglich ist, dann fuhren 95.5 % der Fahrer mit *Night Vision*-Potenzial zu schnell ($Chi^2(df=1, N=269) = 24.66$, $p<.001$; RR=25.69, 95%-CI [3.51; 188.22]).

Auffallend ist, dass unter allen Fahrern, die einen „*Night Vision*-Unfall" hatten, lediglich drei Frauen

waren, der Rest (90.9 %) waren Männer. Sie besaßen damit im Vergleich zu Frauen ein ca. fünfmal so hohes Risiko, einen *Night Vision*-Unfall zu haben (Chi^2(df=1, N=497) = 8.89, p<.01; $RR_{Männer}$=4.84, 95%-CI [1.50; 15.61]). Das Alter der Fahrer spielte keine Rolle; Ablenkung durch Dinge innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs ebenfalls nicht.

Aufgrund der großen Anzahl an Fahrern, die bei Unfällen mit *Night Vision*-Potenzial alkoholisiert oder müde waren bzw. zu schnell fuhren, muss die Frage gestellt werden, inwieweit überhaupt die eingeschränkte Sicht durch die Dunkelheit unfallrelevant war. Berücksichtigt man nur diejenigen Fahrer, die weder alkoholisiert oder müde waren oder zu schnell fuhren, dann kommt man lediglich noch auf eine Zahl von fünf Fahrern bei denen *Night Vision* möglicherweise einen positiven Effekt gehabt hätte. Von diesen fünf Fahrern fuhr jedoch nur einer mit einer angemessenen Geschwindigkeit – bei den anderen Fahrern ist eine sichere Beurteilung der Geschwindigkeit nicht möglich. Es liegt jedoch der Verdacht nahe, dass auch sie zu schnell fuhren. Das bedeutet, dass unter diesem Aspekt das Potenzial von *Night Vision* zur Unfallprävention deutlich nach unten korrigiert werden muss: Es würde so gesehen nur bei 1.6 % (fünf von 312) bzw. 0.3 % (einer von 312) Unfällen einen Effekt für die Unfallprävention bringen.

4.7.11 Empfehlungen für die Gestaltung von Night Vision

Bei der Beurteilung des Unfallvermeidungspotenzials muss unbedingt berücksichtigt werden, dass Unfälle nicht deswegen passieren, weil es dunkel ist und der Fahrer schlecht sieht (auch wenn vielfach versucht wird, den gegenteiligen Eindruck zu erwecken, vgl. z. B. Bossi et al., 1997, S. 239). Andere Faktoren sind dabei viel wichtiger, insbesondere überhöhte Geschwindigkeit, Übermüdung und Alkoholisierung. Viele „*Night Vision*-Unfälle“ sind daher in Wirklichkeit beispielsweise verkappte Übermüdungs- und Alkoholunfälle. Allein rund ein Viertel 23.5 % dieser Unfälle wurden von Fahrern mit mehr als 1.1 Promille Blutalkohol verursacht. Hier so zu tun, als läge das Problem darin, dass die Fahrer aufgrund von Dunkelheit schlecht sehen, wäre schlicht unseriös. Dies bedeutet natürlich nicht, dass eine verbesserte Sicht für einen solchen Fahrer nicht trotzdem von Vorteil gewesen wäre, doch die Sicht ist nicht das Hauptproblem.

Bei der Vermarktung von *Night Vision*-Systemen durch Automobilhersteller spielen Szenarien wie das oben geschilderte Fallbeispiel mit dem Rind auf der Fahrbahn eine große Rolle. Durch *Night Vision* könne sich der Fahrer vor Unfällen durch plötzliche, unvorhergesehene Ereignisse, wie Wild oder Personen auf der Fahrbahn schützen. Doch plötzliche Hindernisse wie Lebewesen oder verlorene Ladung sind das geringere Problem (nur rund ein Viertel der *Night Vision*-Unfälle). In rund drei Viertel der Fälle lag die Ursache in einem Auffahren auf ein langsamer fahrendes Fahrzeug (z. B. Lkw auf der Autobahn) oder (weitaus häufiger) in einem Abkommen von der Fahrbahn. Bei diesen Unfällen ist jedoch auch meist eine deutlich überhöhte Geschwindigkeit mit im Spiel (zusätzlich zu Übermüdung oder Alkoholisierung). Diese Unfälle wären schon durch das Einhalten simpler Si-

cherheitsregeln bzw. der StVO vermeidbar – umgekehrt ist es fraglich, ob sie durch moderne Nachtsichttechnik vermeidbar wären.

Vom psychologischen Standpunkt aus ist das Betonen der Gefahr durch plötzliche Hindernisse seitens der Fahrzeughersteller verständlich: Gefahren, die der Fahrer als von außen kommend und durch das eigene Verhalten als nicht kontrollierbar ansieht, nimmt er tendenziell eher als bedrohlich wahr als Risiken, die er kontrollieren kann und sogar freiwillig eingeht (wie die Wahl der Geschwindigkeit oder die Entscheidung müde oder alkoholisiert zu fahren); diese werden grundsätzlich unterschätzt. Tatsächlich sind diese jedoch für die Verursachung von Unfällen in der Dunkelheit von weitaus größerer Bedeutung.

Die Art der Unfälle hat auch Auswirkungen darauf, welches technische Prinzip einem *Night Vision*-System zugrunde gelegt werden sollte. Wie in Kapitel 2.2.6 erläutert, kommen dafür grundsätzlich zwei Prinzipien in Frage, nämlich das passive Ferninfrarot-System, bei dem Objekte anhand der Eigenwärme detektiert werden, sowie das aktive Nahinfrarot-System, bei dem das Fahrzeug eine eigene Infrarot-Lichtquelle besitzt und die von der Umwelt reflektierten Strahlen erfasst. Da die Mehrzahl der *Night Vision*-Unfälle in einem Abkommen von der Fahrbahn besteht, weil der Fahrbahnverlauf zu spät erkannt wurde, ist von einem passiven Ferninfrarot-System abzuraten, da damit Objekte, die keine Temperaturunterschiede zu ihrer Umgebung aufweisen, wie beispielsweise Fahrbahnmarkierungen, nicht differenziert erkannt werden können. Das aktive Nahinfrarot-System besitzt diesen Nachteil hingegen nicht.

Durch die Tatsache, dass bei rund einem Fünftel der *Night Vision*-Unfälle Müdigkeit eine wichtige Rolle spielte, könnte sich durch den Einsatz solcher Systeme ein positiver Nebeneffekt ergeben. Zum einen ermüdet das Auge bei einer besseren Sicht weniger schnell; zum anderen ist das ständige Wechseln des Blicks zwischen Straße und Display eine Art Zusatzaufgabe, die einen ermüdeten Fahrer zumindest bei langen, monotonen nächtlichen Fahrten (z. B. auf der Autobahn mit wenig Verkehrsaufkommen) eine Zeitlang wach halten könnte. Tatsächlich werden ja auch im Zusammenhang mit der Entwicklung von Systemen zur Müdigkeitskontrolle Nebenbeschäftigungsaufgaben als eine Möglichkeit diskutiert, um den Fahrer wach zu halten (Marberger & Wenzel, 2003). Die Kontrolle eines Displays, auf dem ein weiter entfernter Ausschnitt der Straße dargestellt wird, wäre zumindest eine sinnvolle Tätigkeit mit einem sehr relevanten Bezug zur Fahraufgabe. Allerdings entspricht selbstverständlich die Nutzung eines *Night Vision*-Systems als Beschäftigung gegen das Einschlafen nicht mehr der eigentlichen Idee eines Nachtsichtsystems.

Die aufmerksamkeitserhaltende Funktion des *Night Vision*-Displays bei Müdigkeit ist zudem ein Gegenargument für den häufig nicht zu Unrecht geäußerten Einwand, dass die Überwachung des Displays den Fahrer ablenken könnte. Inwieweit das Display ablenkend wirken kann, kann allerdings durch die vorliegenden Unfalldaten nicht gesagt werden; ebenso sind keine konkreten Aussagen über die Gestaltung des Displays möglich. Diese Fragen müssen eigene ergonomische Untersuchungen klären.

Auf die Problematik möglicher Verhaltensadaptationen bei *Night Vision*-Systemen wird ausführlich in Kapitel 5.2 eingegangen. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass ein Nachtsichtsystem – insbesondere im Vergleich zu anderen Fahrerassistenzsystemen – nur ein sehr geringes Unfallvermeidungspotenzial von weniger als 2 % aller Unfälle besitzt.

4.7.12 Potenzial eines Adaptiven Kurvenlichts

Das oben geschilderte Beispiel mit dem Unfall durch das Galloway-Rind auf der Fahrbahn, der durch ein *Night Vision*-System möglicherweise zu verhindern gewesen wäre, verdeutlich ebenso den Nutzen eines *Adaptiven Kurvenlichts*. Da die Unfallstelle in einer leichten Rechtskurve lag und das Rind von rechts kam, wäre es wahrscheinlich für den Fahrer früher zu erkennen gewesen, wenn ein *Adaptives Kurvenlicht* das Kurveninnere stärker ausgeleuchtet hätte. Der Fahrer hätte somit früher bremsen können und somit die Aufprallgeschwindigkeit reduzieren bzw. den Unfall sogar ganz verhindern können.

Ein verunfallter Fahrer wurde dann als Fahrer mit einem Potenzial für ein Adaptives Kurvenlicht klassifiziert, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

1. Zum Unfallzeitpunkt war es dunkel oder fast dunkel, und der Fahrer verursachte einen Unfall dadurch, weil er eine *in einer Kurve liegende Gefahr* (z. B. plötzliches bewegtes oder unbewegtes Hindernis) *aufgrund der Dunkelheit* zu spät wahrgenommen hatte,
2. oder der Fahrer wollte an einer Kreuzung oder Einmündung abbiegen und sah beim Abbiegevorgang aufgrund von Dunkelheit ein plötzliches Hindernis (z. B. einen die Straße querenden Fußgänger) zu spät
3. oder der Fahrer nahm *aufgrund von Dunkelheit* eine Kurve zu spät wahr und kam dadurch von der Fahrbahn ab.

Als *nicht* für Adaptives Kurvenlicht geeignet klassifiziert wurde der Fahrer dann, wenn das zu späte Wahrnehmen einer Gefahr eindeutig nichts mit der schlechten Sicht bei Dunkelheit zu tun hatte, z. B. bei einem Auffahrunfall in einer Kurve aufgrund eines zu geringen Sicherheitsabstands oder aufgrund eines Sekundenschlafs.

Insgesamt ereigneten sich 17 Unfälle mit einem Potenzial für ein Kurvenlicht. Dies entspricht 5.4 % aller untersuchten Unfälle. Alle Fahrer, die dieses System benötigt hätten, waren Unfallverursacher. Fast alle Unfälle (mit Ausnahme des Rind-Unfalls) waren reine Fahrunfälle, bei denen die Fahrer ohne Fremdeinwirkung in einer Kurve oder in einer Fahrbahnverschwenkung von der Fahrspur abkamen. In einem dieser Fälle kollidierte ein Fahrzeug in einer Rechtskurve nach dem Abkommen auf die Gegenfahrbahn bei stark überhöhter Geschwindigkeit mit einem entgegenkommenden Fahrzeug – alle anderen kamen ohne Fremdeinwirkung anderer Verkehrsteilnehmer von

der Straße ab. Der oben geschilderte Unfall mit dem Rind war der einzige Unfall, bei dem ein Fahrer mit einem plötzlichen Hindernis in einer Kurve kollidierte.

Unfälle, bei denen ein *Adaptives Kurvenlicht* von Nutzen wäre, sind (mit einer Ausnahme) allesamt eine Teilmenge der Unfälle, für die auch *Night Vision* angebracht wäre. Auch für diese Fälle gilt, dass Alkoholisierung als Unfallursache eine bedeutende Rolle spielt: Fast jeder zweite Fahrer hatte Alkohol im Blut (acht von 17 Fahrern, 47.1 %) – hingegen nur 3.8 % der Fahrer, für die ein Kurvenlicht nicht in Frage kommt ($Chi^2(df=1, N=493) = 61.54$, $p<.001$; RR=15.97, 95%-CI [6.71; 37.98]). Von den acht Alkoholisierten hatten drei einen Blutalkoholgehalt von mehr als 1.1 Promille.

Übermüdung spielte ebenfalls eine Rolle. Gut ein Fünftel der Fahrer (22.2 %), denen möglicherweise ein adaptives Kurvenlicht geholfen hätte, hätte auch eine Aufmerksamkeitskontrolle genützt ($Chi^2(df=1, N=450) = 5.19$, $p<.05$).

Wie auch bei den *Night Vision*-Unfällen ist auch hier überhöhte Geschwindigkeit ein eminent wichtiger Faktor, der zur Unfallentstehung beitrug. Bei vier Fahrern ist eine sichere Beurteilung der gefahrenen Geschwindigkeit nicht möglich, auch wenn der Verdacht besteht, dass sie zu schnell fuhren; alle anderen fuhren ausnahmslos zu schnell (davon elf Fahrer „viel zu schnell“; $Chi^2(df=1, N=271) = 16.68$, $p<001$).

Ablenkung durch Objekte innerhalb oder außerhalb des Fahrzeugs spielte keine Rolle. Beim Alter der Fahrer besteht eine (nicht signifikante) Tendenz im Sinne eines erhöhten Risikos für junge Fahrer (6.1 % der jungen, 3.1 % der mittel alten, jedoch kein einziger der älteren Fahrer hatten einen solchen Unfall). Wie auch beim *Night Vision*-System besteht ein Zusammenhang mit dem Geschlecht der Fahrer: Unter den Fahrern, die derartige Unfälle mit einem Potenzial für *Night Vision* produzierten, befand sich nur eine Frau, der Rest waren Männer ($Chi^2(df=1, N=491) = 5.22$, $p<.05$).

Setzt man auch hier beim adaptiven Kurvenlicht denselben Filter wie bei *Night Vision* und betrachtet lediglich diejenigen Unfälle, bei denen der Fahrer nicht alkoholisiert oder müde war und nicht zu schnell fuhr, bleibt lediglich ein einziger Unfall übrig, bei dem zudem eine genau Beurteilung der Geschwindigkeit nicht möglich ist. Das Unfallvermeidungspotenzial des Adaptiven Kurvenlichts geht damit gegen Null (einer von 312 Unfällen, 0.3 %).

4.7.13 Empfehlungen für die Gestaltung eines Adaptiven Kurvenlichts

Kein einziger Unfall mit einem Potenzial für ein Adaptives Kurvenlicht wurde bei einem Abbiegevorgang verursacht, sondern alle beim Befahren einer Kurve. Damit scheint das von einigen Automobilherstellern entwickelte oder bereits angebotene *Abbiegelicht*, das bei einem Abbiegevorgang die Straße, in die eingebogen werden soll, mit einem zusätzlichen Scheinwerfer ausleuchtet, für die Verhinderung von Unfällen kaum Bedeutung zu haben. Es ist somit eher zur Erhöhung des Fahr-

komforts und weniger wegen der Verkehrssicherheit interessant. Dies erscheint auch durchaus plausibel, wenn man bedenkt, dass beim Abbiegen automatisch die Fahrgeschwindigkeit stark verringert wird. Mit einer langsameren Geschwindigkeit sinkt jedoch auch das Risiko, von der Straße abzukommen sowie mit plötzlichen Hindernissen zu kollidieren wie z. B. mit Fußgängern, die die Fahrbahn queren.

Da bei fast allen Unfällen die Unfallursache in einem zu späten Erkennen des Fahrbahnverlaufs besteht, wäre es für den Fahrer eine Hilfe, wenn das Kurvenlicht auch bei weiten Kurvenradien so in die Kurven hineinleuchten könnte, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers durch die Bewegung der Scheinwerfer auf den gekrümmten Fahrbahnverlauf gelenkt wird. Wichtig wäre dabei ein stufenlose Schwenkbarkeit des Lichtkegels, so dass bei leichten Kurven der Lichtkegel leicht mitschwenkt und bei stärkeren Kurven entsprechend stärker.

Wenig hilfreich wäre hingegen ein System, das mit einer zuschaltbaren Lichtquelle nach dem „Alles-oder-Nichts-Prinzip" arbeitet und erst bei einer starken Kurve das Zusatzlicht einschaltet. Der Grund dafür liegt darin, dass bei einer ausschließlichen Zuschaltung des Zusatzlichtes in starken Kurven das Licht in leichteren Kurven gar nicht zur Verfügung stünde und damit keinen Nutzen hätte. Würde man das Kriterium für die Zuschaltung des Lichts empfindlicher einstellen, würde dies hingegen wahrscheinlich den Fahrer beim Befahren einer Strecke mit zahlreichen, leichten Kurven durch ständiges An- und Ausschalten des Lichts stören. Außerdem würde die Beleuchtung eines Fahrbahnrandbereichs, der zuvor im Dunklen lag, zumindest kurzfristig die Aufmerksamkeit des Fahrers von der Straße abziehen. Daher ist eine technische Lösung, die ein sanftes Mitschwenken des Lichtkegels ermöglicht, zu bevorzugen.

Wenn der primäre Sicherheitsgewinn des *Adaptiven Kurvenlichts* darin besteht, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers auf den gekrümmten Straßenverlauf gelenkt wird, dann ist dies jedoch nur dann ein Vorteil, wenn dies auch *rechtzeitig* geschieht. Erfolgt die Steuerung der Scheinwerfer jedoch anhand des Lenkwinkels, dann bedeutet dies, dass der Fahrer erst einmal das Lenkrad einschlagen muss, damit auch das Licht mitschwenkt. Zu diesem Zeitpunkt hat er die Kurve jedoch bereits wahrgenommen. Sinnvoller wäre ein sanftes Schwenken des Lichtkegels schon *bevor* sich der Fahrer in die Kurve fährt und nicht, wenn er sich bereits in der Kurve befindet.

Bei einer Steuerung aus Fahrzeug-Daten informiert quasi der Fahrer durch sein Lenkverhalten das Fahrerassistenzsystem über das Vorhandensein einer Kurve. Eigentlich sollte es jedoch genau anders herum sein: Das Assistenzsystem sollte den Fahrer über eine kommende Kurve informieren, damit dieser sich rechtzeitig darauf einstellen und z. B. seine Geschwindigkeit entsprechend reduzieren kann. Dies setzt jedoch voraus, dass das System „weiß", an welchem Ort sich das Fahrzeug befindet und wie der weitere Straßenverlauf ist. Dies könnte technisch durch eine Anbindung des Kurvenlichts an das Navigationssystem realisiert werden.

Durch eine Ansteuerung beweglicher Scheinwerfer durch GPS-Informationen wäre es auch mög-

lich, beispielsweise außerhalb geschlossener Ortschaften mit starkem, gebündeltem Lichtkegel zu fahren und innerhalb mit einem breiten Lichtband, das auch Bürgersteige ausleuchtet. Dadurch wären Fußgänger, die in der Dunkelheit plötzlich auf die Fahrbahn treten, früher zu erkennen. (Dadurch dürften im Übrigen Unfälle mit Fußgängern wahrscheinlich besser zu verhindern sein als durch ein *Night Vision*-System, da dieses voraussetzt, dass der Fahrer überhaupt zum entscheidenden Zeitpunkt auf das Display sieht.)

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Ursache von Unfällen in Kurven bei Dunkelheit grundsätzlich nicht darin lag, dass irgendwelche Hindernisse plötzlich in der Kurve auftauchten, sondern darin, dass die Fahrer die Kurve zu spät erkannten. Dies war jedoch nicht eine Folge der Dunkelheit, sondern eher eine Folge nicht angepasster Geschwindigkeit und bei jedem zweiten Fahrer zusätzlich eine Folge von Alkoholisierung. An ein Adaptives Kurvenlicht sollte man daher keine großen Erwartungen hinsichtlich der Unfallprävention stellen. Sein Nutzen liegt bestenfalls in einer Steigerung des Fahrkomforts.

4.7.14 Potenzial einer Verkehrszeichenerkennung

Ein verunfallter Fahrer wurde dann als Fahrer mit einem Potenzial für eine Verkehrszeichenerkennung klassifiziert, wenn folgendes Kriterium erfüllt war:

1. Der Fahrer übersah oder missachtete ein Verkehrszeichen (z. B. ein Verkehrsschild oder eine Ampel), wobei das Nicht-Befolgen dieses Zeichens in einem kausalen Zusammenhang zur Unfallverursachung steht.

Dabei spielte es keine Rolle, ob derzeit in der Entwicklung befindliche Systeme bereits die Fähigkeit besitzen, ein solches Zeichen zu erkennen oder nicht. Als *nicht* für eine Verkehrszeichenerkennung geeignet klassifiziert wurde der Fahrer dann, wenn er ein Zeichen wahrgenommen hatte (oder aus Erfahrung ohnehin wusste, dass es sich dort befand) und die Absicht hatte, das Verkehrszeichen zu befolgen.

Das bedeutet, dass die zahlreichen Fälle, bei denen ein Fahrer z. B. aufgrund eines Schildes Vorfahrt gewähren musste, dies auch wollte, dann jedoch wegen irgendeines Fehlers ein anderes vorfahrtsberechtigtes Fahrzeug übersah, *nicht* als potenzielle Fälle für eine Verkehrszeichenerkennung gewertet wurden. Denn in solchen Situationen bestand die Unfallursache nicht in einem Übersehen oder Ignorieren des Verkehrszeichens, sondern im Übersehen eines anderen Verkehrsteilnehmers, vor dem auch eine Verkehrszeichenerkennung nicht schützen kann.

Hier unterscheidet sich eine verkehrspsychologische Beurteilung ganz klar von einer rechtlichen Beurteilung, wie sie die Polizei macht. Sie würde in einem solchen Fall lediglich pauschal von einer Vorfahrtsverletzung nach Paragraph XY der StVO sprechen, da der Unfallverursacher einem anderen Verkehrsteilnehmer den Vorrang genommen hat – aus welchem Grund, ist für sie egal. Für die

Beurteilung des Potenzials einer Verkehrszeichenerkennung ist jedoch eine differenzierte Betrachtung erforderlich.

Bei insgesamt 49 von 312 Unfällen (15.7 %) hätte der unfallverursachende Fahrer möglicherweise von einer Verkehrszeichenerkennung profitiert. Hinzu kommen weitere vier unfallbeteiligte Fahrer (allesamt Fahrer, die zu schnell fuhren), bei denen eventuell eine Verkehrszeichenerkennung ebenfalls hilfreich gewesen wäre (Chi^2(df=1, N=484) = 25.10, p<001). Bei einigen dieser Unfälle übersahen / ignorierten Fahrer allerdings mehr als ein Verkehrszeichen. Wertet man die Zahl der nicht befolgten Verkehrszeichen, so kommt man auf eine Zahl von 65.

Bei keinem anderen Fahrerassistenzsystem ist die Frage nach der Absichtlichkeit einer Handlung, die zum Unfall führte, von so entscheidender Bedeutung, wie für die Verkehrszeichenerkennung. Stets muss hier berücksichtigt werden, ob ein Verkehrszeichen versehentlich oder absichtlich nicht befolgt wurde. Für die folgenden Ausführungen soll daher als neutraler Ausdruck die Bezeichnung „Nichtbefolgen“ für allgemeine Betrachtungen bei Unfällen mit einem Potenzial für einen Verkehrszeichenerkennung benutzt werden. Anschließend folgt eine differenziertere Betrachtung, inwieweit ein Nichtbefolgen Absicht war oder nicht.

Unter den 65 nicht befolgten Verkehrszeichen befanden sich neun Ampeln mit Rotlicht, sieben Stoppschilder, acht Vorfahrt-gewähren-Schilder, drei Richtungsgebote, drei Überholverbote, 19 Tempobeschränkungen, neun Warnschilder und sieben sonstige Schilder.

Von den Fahrern, für die eine Verkehrszeichenerkennung eventuell einen Nutzen gebracht hätte, waren 15.1 % alkoholisiert – von denen, die es nicht brauchten, waren es nur 3.7 %. Ein Drittel aller alkoholisierten Fahrer (33.3 %) übersah oder missachtete ein Verkehrszeichen. Unter Alkoholisierung ist dieses Risiko um das dreieinhalbfache erhöht (Chi^2(df=1, N=484) = 12.97, p<.001; RR=3.41, 95%-CI [1.81; 6.40]. Das Alter und Geschlecht der Fahrer hatte keinen signifikanten Einfluss.

Ampeln mit Rotlicht: In neun Fällen (2.9 % aller Unfälle) ereignete sich ein Unfall, weil der Fahrer über eine Ampel fuhr, die Rotlicht zeigte. In fast allen Fällen war dies keine Absicht, sondern ein Fehler. Der Fahrer wurde beispielsweise durch direktes Sonnenlicht geblendet (vier Fälle) und konnte daher das Rotlicht nicht erkennen, oder die tiefstehende Sonne stand dem Fahrer im Rücken und schien direkt auf die Ampellichter, so dass der Fahrer ebenfalls das Rotlicht nicht erkannte (zwei Fälle). In einem anderen Fall fuhr ein ortsunkundiger Fahrer an einer großen, unübersichtlichen, mehrspurigen Kreuzung als Linksabbieger an einer ersten Ampel bei Grün los und bog links ab, übersah dann jedoch eine zweite „Auffang-Ampel“, die Rot zeigte. Ein absichtliches Überfahren einer roten Ampel fand lediglich einmal durch ein Polizeiauto auf einer Einsatzfahrt mit Sondersignalen (Blaulicht und Martinshorn) statt; doch dies ist ein Sonderfall, bei dem man nicht von einem typischen Verstoß sprechen kann (vgl. auch Krüger, 2003).

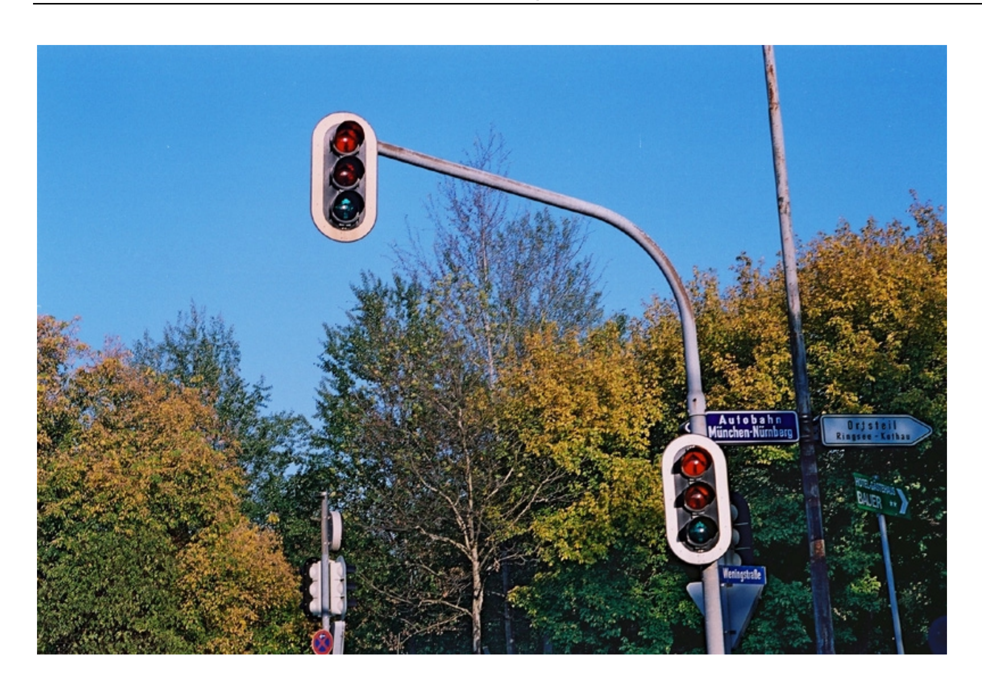


Abbildung 29: Verkehrsampel, die von der Sonne beschienen wird (Fall 293). Das Foto wurde kurz nach dem Unfall von der Polizei aufgenommen. Der unfallverursachende 79-jährige Fahrer hatte diese Ampel bei Rot überfahren und hatte gesagt, er habe wegen der Reflexion des Sonnenlichts nicht gesehen, dass die Ampel Rot zeigt. Das Foto zeigt, dass das Lichtsignal tatsächlich schwer zu erkennen ist – hier zeigt die Ampel gerade Rot.

Stoppschilder: Sieben Unfälle (2.2 % aller Unfälle) ereigneten sich, weil Fahrer an einem Stoppschild nicht anhielten. Fünf Fahrer davon überfuhren das Stoppschild absichtlich, zwei Fahrer übersahen das Schild. Hierfür jeweils ein Beispiel:

Fall 9:

> Zum Unfallzeitpunkt war es dunkel und die Straße war trocken. Eine 19-jährige Fahrerin in einem VW Polo befand sich auf einer ihr völlig unbekannten Strecke auf dem Weg zu einer Freundin. Sie hatte sich bereits verfahren, versuchte, wieder den richtigen Weg zu finden und hielt nach einem markanten Orientierungspunkt (Tunnel) Ausschau, der ihr vor der Fahrt beschrieben worden war. Ein Navigationssystem war im Fahrzeug nicht vorhanden. Sie fuhr mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h innerorts und war der Meinung, sie sei auf einer Vorfahrtsstraße. An einer Kreuzung übersah sie ein Stoppschild und fuhr ungebremst in die Kreuzung ein. Dabei stieß sie mit einem von rechts kommenden Pkw zusammen, dessen Fahrer keine Chance zu reagieren hatte.



Abbildung 30: Die Unfallstelle des oben beschriebenen Unfalls, an der die Fahrerin das Stoppschild übersah. Zum Unfallzeitpunkt war es dunkel.

Die Unfallstelle, die von Ortskundigen als Unfallschwerpunkt beschrieben wurde, weist einige Gestaltungsmerkmale auf, die die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls erhöhen. So steht beispielsweise das Stoppschild auf der rechten Seite relativ weit von der Straße entfernt, nahe an einem Haus, dieses Haus ist bis ganz an die Kreuzung heran gebaut und erschwert dadurch die Einsehbarkeit nach rechts in die Kreuzung, statt einer Mittelinsel mit einem zweiten Stoppschild ist lediglich eine Sperrfläche vorhanden und die verpflichtend vorgeschriebene Haltelinie an der Kreuzung ist abgefahren und damit nicht mehr durchgezogen.

In diesem Fall übersah die ortsunkundige Fahrerin, die durch die Navigationsaufgabe kognitiv und visuell abgelenkt war, das Verkehrsschild. Merkmale der Umwelt wie die Gestaltung der Straße, aber auch die Dunkelheit, begünstigten dabei diesen Fehler.

In anderen Fällen überfuhren Fahrer jedoch *absichtlich* ein Stoppschild, wie bei folgendem Unfall:

Fall 132:

> Zum Unfallzeitpunkt war es hell und die Straße war trocken. Der 34-jährige Fahrer eines Audi A4 Avant fuhr auf einer ihm sehr gut bekannten Landstraße mit ca. 100 km/h. An einer Kreuzung mit Stoppschild wollte er geradeaus weiterfahren und reduzierte seine Geschwindigkeit auf 52 km/h (Ergebnis der technischen Rekonstruktion) und fuhr in die Kreuzung ein. Dabei stieß er mit einem von rechts kommenden Skoda Octavia zusammen, der mit einer Geschwindigkeit von ca. 50 km/h (Beschränkung auf 70 km/h) fuhr. Der Audi-Fahrer behauptete, mit 30 km/h gefahren zu sein und konnte/wollte nicht begründen, warum er am

hauptete, mit 30 km/h gefahren zu sein und konnte/wollte nicht begründen, warum er am Stoppschild nicht anhielt. Er sei eben einfach in die Kreuzung eingefahren.

An der Unfallstelle steht in Fahrtrichtung des Audi-Fahrers ein Stoppschild, weil die querende Vorfahrtsstraße (entgegen der Fahrtrichtung des Skoda-Fahrers aus gesehen) eine Rechtskurve macht und zugleich abfällt und daher für einen querenden Fahrer nur gut einsehbar ist, wenn er an der Kreuzung anhält. Bei einem Überfahren der Kreuzung ohne Anhalten ist der von rechts kommende Verkehr aufgrund der abfallenden Kurve, Bäumen und Gebüsch nicht rechtzeitig sichtbar.



Abbildung 31: Die Unfallstelle des oben beschriebenen Unfalls. Der Fahrer fuhr mit ca. 50 km/h in die Kreuzung ein, obwohl die querende Vorfahrtsstraße nur gut nach rechts einsehbar ist, wenn man am Stoppschild anhält.

Eine Besonderheit bei der Gestaltung der Kreuzung ist, dass der nach rechts abbiegende Verkehr eine separate Rechtsabbiegerspur besitzt und lediglich ein Vorfahrt-gewähren-Schild beachten muss, da für Rechtsabbieger von rechts aus der Kurve kommende Fahrzeuge nicht relevant sind. Verkehrsteilnehmer, die geradeaus fahren wollen, müssen jedoch am Stoppschild anhalten. An der Unfallstelle befindet sich keine durchgezogene Haltelinie, wie es Vorschrift ist (Zeichen 294, VwV-StVO), sondern lediglich eine unterbrochene Markierungslinie. Möglicherweise wurde das Stoppschild nachträglich aufgestellt, ohne die vorgeschriebene Haltelinie ebenfalls anzubringen. Bei diesem Unfall war das Überfahren des Stoppschilds kein Versehen, sondern Absicht. Der Fahrer kannte die Unfallstelle sehr gut, fuhr sie regelmäßig und wusste, dass er an dieser Stelle anhalten musste.

Vorfahrt-gewähren-Schilder: Ähnlich wie bei den Unfällen an Stoppschildern gibt es auch bei Vorfahrt-gewähren-Schildern einige Unfälle (insgesamt acht Unfälle), bei denen der Fahrer das Schild nicht befolgte. Bei drei dieser Fälle handelt es sich um ein Versehen des Fahrers, in drei Fällen um Absicht und bei zwei Fällen ist keine sichere Aussage möglich. Gewertet wurden hier allerdings nur Unfälle, bei denen der wartepflichtige Fahrer deutlich zu schnell in eine Kreuzung oder Einmündung einfuhr. Häufig vorkommende Unfälle durch mangelnde Umsicht sind hier nicht mitgerechnet, da hier der Fehler beim Übersehen anderer Verkehrsteilnehmer zu suchen ist (siehe oben!).

Richtungsgebot-Schilder: Drei Unfälle ereigneten sich, weil der Fahrer ein Gebotsschild mit vorgeschriebener Fahrtrichtung nicht befolgt hatten. Zwei Fahrer missachteten das Schild absichtlich, um den Weg abzukürzen und sich Fahrzeit zu sparen und ein Fahrer übersah bei Dunkelheit und einer Alkoholisierung von 1.7 Promille ein Gebotsschild für einen Kreisverkehr, fuhr ungebremst mit hoher Geschwindigkeit (ca. 80-100 km/h) über die bepflanzte Insel des Verkehrskreisels und überschlug sich.

Überholverbotschilder: Drei Fahrer überholten an unübersichtlichen Stellen im Überholverbot. Alle drei begingen diesen Verstoß absichtlich.

Tempobeschränkungen: Das Nichteinhalten von Geschwindigkeitsbeschränkungen, die durch extra aufgestellte Schilder gelten, ist die häufigste (Mit)ursache von Unfällen, die möglicherweise durch eine Verkehrszeichenerkennung verhindert werden könnten. Hier ist jedoch eine Beurteilung, inwiefern Absicht vorliegt oder nicht, sehr schwierig. Fraglich ist zudem, inwiefern bei geringeren Tempoüberschreitungen von einem Verstoß gesprochen werden soll. Aus diesem Grund wurde bereits in Kapitel 4.5.2 für Tempoüberschreitungen der Begriff „gefährdende Routine“ eingeführt.

Warnschilder: Insgesamt neun Warnschilder waren an Unfallstellen vorhanden, deren Beachtung möglicherweise den Unfall verhindert hätten, nämlich „Staugefahr!“, „Schleudergefahr!“, „Achtung, gefährliche Kurve!“, „Achtung, Doppelkurve!“, „Achtung, Wildwechsel!“, „Achtung, Eisglätte!“ und „Achtung, Baustelle!“. Von einem absichtlichen oder unabsichtlichen Nichtbefolgen kann man hier nicht sprechen, da diese Schilder lediglich eine allgemein informierende Aufgabe besitzen, was zu einer erhöhten Aufmerksamkeit des Fahrers führen sollte. Zudem sollte dies auch (außer bei der Warnung vor Wildwechsel) eine geringere Geschwindigkeit und vorsichtigere Fahrweise nach sich ziehen.

Sonstige Verkehrszeichen: Unfälle durch sonstige nicht befolgte Verkehrszeichen (sieben Fälle) sind hauptsächlich Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn. In fünf Fällen waren sogenannte „Richtungstafeln in Kurven vorhanden“ (Zeichen 625 der StVO, § 43), die es in unterschiedlichen Größen gibt (siehe Abbildung!). Sie markieren eine starke Kurve. In diesen fünf Fällen führten sie dennoch nicht dazu, dass der Fahrer seine Geschwindigkeit entsprechend reduzierte.





Abbildung 32: Bild links: Das Verkehrszeichen „Richtungstafel in Kurven“ (Zeichen 625). An dieser Unfallstelle kam der Unfallverursachende Fahrer aufgrund überhöhter Geschwindigkeit nach links von der Fahrbahn ab und kollidierte frontal mit einem entgegenkommenden Fahrzeug. Bild rechts: Die unfallverursachende Fahrerin übersah nicht nur die Richtungstafel in Kurven, sondern auch eine Vorankündigung eines „Vorfahrt-gewähren-Schilds“, fuhr mit weit überhöhter Geschwindigkeit in die Kurve ein und konnte an der unmittelbar dahinter befindlichen Einmündung nicht mehr anhalten, wo sie mit einem von links kommenden bevorrechtigten Fahrzeug kollidierte.

Betrachtet man alle Unfälle mit Potenzial für Verkehrszeichenerkennung und schließt man die schwierig zu beurteilenden Geschwindigkeitsüberschreitungen sowie die Warnschilder aus, dann zeigt sich, dass das Nichtbefolgen von Verkehrszeichen (unabhängig von der Zeichenart) in rund 45.7 % der Fälle absichtlich und in 54.3 % versehentlich erfolgte (16 Ausnahmeverstöße vs. 19 Fehler; bei zwei Fällen ist keine sichere Beurteilung möglich). Hierbei ist allerdings nur der unmittelbare kausale Zusammenhang zwischen Nichtbefolgung des Verkehrszeichens und dem Unfall erfasst. Dies schließt jedoch nicht aus, dass Fahrer, die ein Zeichen versehentlich nicht befolgt haben, trotzdem einen *anderen* Ausnahmeverstoß begangen haben. Beispielsweise gab es Fahrer, die stark alkoholisiert (über 1.3 Promille) mit stark überhöhter Geschwindigkeit fuhren und versehentlich Verkehrszeichen übersahen. Der Ausnahmeverstoß lag hier im alkoholisierten Fahren.

4.7.15 Empfehlungen für die Gestaltung einer Verkehrszeichenerkennung

Da 45.7 % Prozent der Unfälle, die auf Nichtbefolgen von Verkehrszeichen zurückzuführen waren, aufgrund von absichtlichen Missachtungen (Ausnahmeverstößen) geschahen, schmälert dies das Potenzial einer Verkehrszeichenerkennung deutlich. Andererseits ereignet sich dennoch über die Hälfte der Unfälle aufgrund von Fehlern – bei diesen Fahrern wäre das Assistenzsystem eine große Hilfe. Doch auch bei den Fahrern, die ein Verkehrszeichen absichtlich missachteten, ist sicherlich auch nicht jeder Fall hinsichtlich einer Beeinflussung durch eine Warnmeldung hoffnungslos. Ob ein Fahrer, der ein Verkehrszeichen missachten will, sich durch eine Warnung möglicherweise doch umstimmen lässt, hängt von unterschiedlichen Faktoren ab, wie z. B. von dessen Persönlich-

keit, seinem situativen Zustand (Eile, Alkoholisierung usw.) und von der Art und Weise, wie das System den Fahrer warnt.

Letztgenanntes ist eine große psychologisch-ergonomische Herausforderung, denn einerseits muss eine Warnung so eindringlich gestaltet sein, dass der Fahrer sie auch befolgt, andererseits darf sie nicht so lästig sein, dass er genervt sein System abschaltet, da er sonst überhaupt keine Warnmeldungen mehr erhält. In jedem Fall muss daher die Art der Warnung abhängig vom Verkehrszeichen sein, da es für die Verkehrssicherheit wichtige und weniger wichtige Zeichen gibt sowie zusätzlich auch Zeichen, die für den Fahrer *subjektiv* weniger sind (z. B. Geschwindigkeitsbeschränkungen). Aus diesem Grund erfolgen die Empfehlungen für die Gestaltung einer Verkehrszeichenerkennung auch getrennt nach den einzelnen Zeichen.

Ampeln mit Rotlicht: Das Überfahren einer Ampel mit Rotlicht stellt eine große Gefahr dar. Daher sollte auch eine Warnung davor dementsprechend intensiv und eindringlich sein. In diesem Fall kann man sogar fragen, ob für den Fall, dass der Fahrer keine Reaktion zeigt, nicht ein automatisches Abbremsen erfolgen sollte. Dies sollte jedoch gut überlegt werden, da eine solche Funktion auch die Gefahr eines Missbrauchs beinhaltet. So könnte es beispielsweise Fahrer geben, die aus Bequemlichkeit oder Spaß vor jeder roten Ampel das Auto alleine abbremsen lassen und damit ihre eigene Verantwortung aus der Hand geben. Daher sollte eine Warnung ausreichend sein. Diese sollte dann aber (zumindest in der letzten Stufe) entsprechend stark und auch durchaus unangenehm für den Fahrer sein.

Aus technischer Sicht dürfte jedoch das Erkennen des Ampellichts ein großes Problem darstellen, da entsprechend empfindliche Sensoren zum Erkennen der Wellenlänge des Lichts (Farbe) noch sehr kostspielig sind. Daher muss das System mit Schwarzweißsensoren arbeiten und eine Ampel wie ein Farbenblinder wahrnehmen. Anhand der Position des aufleuchtenden Lichts erkennt der Computer, ob die Ampel auf Rot oder Grün steht (Daimler-Chrysler 2002c). Dies setzt jedoch voraus, dass das Lichtsignal an sich überhaupt erkennbar ist. Bei starkem Gegenlicht (tiefstehende Sonne direkt hinter der Ampel) oder bei starken Lichtreflexionen auf der Ampel (tiefstehende Sonne im Rücken des Fahrers, die direkt auf Ampel scheint) hat jedoch die Technik ähnliche Probleme wie das menschliche Auge (vgl. Abbildung 29 in Kapitel 4.7.14). Dies bedeutet, dass die Technik genau dann nicht funktionieren würde, wenn der Fahrer auf sie angewiesen wäre. Wenn eine Ampelerkennung einen Nutzen bringen sollte, dann müsste sie jedoch in genau diesen kritischen Situationen zuverlässig funktionieren. Denn in den allermeisten Fällen bereitet es dem Fahrer ja keine Probleme, ein rotes Ampellicht zu sehen. Ein nur in solchen Situationen funktionierendes System würde ihm keinen zusätzlichen Nutzen bringen. Aus psychologischer Sicht birgt jedoch ein nur teilweise funktionierendes System die Gefahr, dass der Fahrer sich auf die Technik verlässt, seine Aufmerksamkeit und Vorsicht reduziert und dann jedoch in einer kritischen Situation von einem Nichtfunktionieren des Assistenzsystem überrascht wird.

Stoppschilder: Stoppschildern kommt eine ähnlich hohe Wichtigkeit zu wie Ampeln. Da sie in der

Regel an Knotenpunkten stehen, an denen auf der Vorfahrtstraße mit einer hohen Geschwindigkeit gefahren wird oder die schlecht einsehbar sind, sollte das Warnsignal (in der letzten Stufe) genauso intensiv und unangenehm sein wie bei einer Warnung vor einer Ampel. Zwar mag man sich bei einigen Unfällen wie den beiden oben beschriebenen spontan eine automatische Notbremsfunktion wünschen, die das Überfahren eines Stoppschilds verhindert, doch muss auch hier vor Missbrauch durch den Fahrer gewarnt werden. Wie auch bei einer roten Ampel könnte dies dazu führen, dass der Fahrer nicht mehr selber bremst, sondern automatisch bremsen lässt. Hinzu kommt, dass ein ungebremstes Heranfahren an ein Stoppschild mit einer automatischen Notbremsung im letzten Moment Fahrer auf der vorfahrtsberechtigten Straße erschrecken könnte. Sie könnten in Erwartung eines drohenden Unfalls selbst stark abbremsen und Auffahrunfälle durch hinter ihnen fahrende Fahrzeuge provozieren.

Es wäre jedoch denkbar, andere Assistenzsysteme bei Annäherung des Fahrzeugs mit hoher Geschwindigkeit an ein Stoppschild und dem Ausbleiben einer Fahrerreaktion nach erfolgter Warnung in einen Zustand erhöhter Empfindlichkeit zu versetzen. Im Falle einer drohenden Kollision mit einem anderen Fahrzeug könnte so z. B. eine Automatische Notbremse frühzeitiger auslösen.

Das an Stoppschildern häufig zu beobachtende Verhalten, dass ein Fahrer nicht an der Haltelinie vollständig zum Stehen kommt, sondern vor dem Beschleunigen eine kleine Restgeschwindigkeit beibehält, sollte dabei vom Assistenzsystem bis zu einer gewissen Grenze toleriert werden, ohne eine Warnung auszugeben. Es sollte nicht davon ausgegangen werden, dass ein Fahrer sich durch Belehrungen der Technik dazu erziehen lässt, an einem Stoppschild komplett anzuhalten. Eher würde durch solche „Belehrungen“ von Seiten des Assistenzsystems riskiert, dass der Fahrer das System ausschaltet.

Bei einer Warnung des Fahrers, wenn dieser mit ungebremster Geschwindigkeit auf ein Stoppschild zufährt, ist selbstverständlich zu berücksichtigen, ob das Stoppschild in dieser Situation überhaupt Gültigkeit hat oder dadurch außer Kraft gesetzt wird, dass eine Ampel durch Grünlicht dem Fahrer freie Fahrt signalisiert. Falls die Ampel Grün zeigt, muss eine Warnung selbstverständlich ausbleiben. Insofern ist zu hinterfragen, ob eine Erkennung und Warnung vor Stoppschildern überhaupt Sinn macht, wenn das Fahrzeug nicht auch gleichzeitig eine gut funktionierende Ampelerkennung besitzt. Ansonsten könnte der Fahrer nämlich nur allgemein vor jedem Stoppschild informiert werden (z. B. durch Einblenden eines Stoppschild-Symbols im Display) – eine eindringliche Warnung könnte jedoch nicht erfolgen, da es ja sonst genauso gut sein könnte, dass der Fahrer deswegen nicht anhält, weil er Grün hat. Ob jedoch ein Symbol im Display auffälliger ist als ein großes, reales Stoppschild an einer Kreuzung, ist sehr fraglich.

Vorfahrt-gewähren-Schilder: Eine Warnung vor einem Vorfahrt-gewähren-Schild sollte in jedem Fall deutlich weniger eindringlich gestaltet sein als eine Warnung vor einem Stoppschild. Dies ist schon deswegen unumgänglich, da Vorfahrt-gewähren-Schilder wesentlich häufiger sind. Eine aufdringliche Warnung an jedem Vorfahrt-gewähren-Schild würde den Fahrer sehr schnell nerven

und zu einer Deaktivierung des Systems führen. Zudem kann es an Kreuzungen oder Einmündungen mit derartigen Schildern durchaus sein, dass ein Fahrer, wenn er einen guten Einblick in die querende Straße hat, ohne starkes Abbremsen abbiegt oder die Kreuzung überquert. An diesem Verhalten ist (im Gegensatz zu einem Stoppschild) grundsätzlich nichts Außergewöhnliches, so dass das Assistenzsystem auch keinen Anhaltspunkt dafür hat, ob der Fahrer das Zeichen wahrgenommen hat oder nicht.

Daher ist eine eindringliche Warnung eigentlich nicht möglich (es sei denn, man nimmt eine sehr hohe Anzahl an Fehlalarmen in Kauf) da das System eine Gefahrensituation nicht zuverlässig erkennen kann. Hinzu kommen dieselben Probleme in Kombination Grünlicht an Ampeln wie auch bei Stoppschildern.

Richtungsgebot-Schilder: Für Richtungsgebot-Schilder wären zwei Stufen der Warnung sinnvoll: Zum einen eine (unaufdringliche) optische Information (z. B. im Display) und zum anderen eine akustische Warnung. Diese könnte dann gegeben werden, wenn der Fahrer den Blinker betätigt und damit anzeigt, dass er in eine Richtung abbiegen möchte, in die er aufgrund des Gebotschilds nicht abbiegen darf. In einigen Fällen erhält er jedoch keine Warnung, wie z. B. in dem oben erwähnten Fall, bei dem der stark alkoholisierte Fahrer geradeaus über einen Verkehrskreisel fuhr, da das Blinken vor dem Einfahren in einen Kreisverkehr laut StVO untersagt ist. Das Unterlassen des Blinkens war daher gemäß StVO korrekt.

Grundsätzlich ist beim Nichteinhalten eines Fahrtrichtungsgebots häufig von Absicht und nicht von einem Fehler auszugehen, daher sollte man diesbezüglich in die Wirksamkeit einer Verkehrszeichenerkennung keine zu großen Hoffnungen setzen.

Überholverbotschilder: Für Überholverbotschilder gilt Ähnliches wie für Richtungsgebot-Schilder. Das bloße Vorhandensein eines solchen Zeichens kann unaufdringlich optisch dargestellt werden. Relevant ist es jedoch nur dann, wenn der Fahrer in einer Situation ist, in der er überholen möchte. Dies wäre für das System dadurch erkennbar, wenn der Fahrer den Blinker links setzt und zugleich einen geringen Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einhält (was durch die Kamera von *Adaptive Cruise Control* registriert werden könnte). In einem solchen Fall sollte dann ein akustisches Warnsignal ertönen.

Überholverbotschilder können jedoch auch durch einen Fehler von einem Fahrer übersehen werden. Ein typisches Szenario hierfür ist ein Fahrer, der dicht hinter einem langsam fahrenden Lkw herfährt und dabei zur Fahrbahnmitte hin fährt, um gut auf die Gegenfahrbahn einsehen zu können. Dabei kann es leicht passieren, dass er ein am rechten Fahrbahnrand befindliches Überholverbotschild übersieht – zum einen aufgrund seiner Ablenkung, zum anderen jedoch auch aufgrund des ungünstigen Blickwinkels zum rechten Fahrbahnrand. Denn da er dicht hinter einem Lkw fährt, ist ihm die Sicht teilweise verdeckt. Ein Schild am rechten Fahrbahnrand kann er daher erst sehr spät und nur für einen kurzen Moment wahrnehmen.

Hier ist eine entscheidende Frage, wie groß der Winkel ist, den die Kamera einer Verkehrszeichenerkennung erfassen kann. Denn ist er zu klein, würde dies bedeuten, dass der Fahrer genau in der Situation, wenn er die Hilfe eines solchen Systems am meisten braucht, da er sich selbst auf möglichen Gegenverkehr konzentrieren muss, diese nicht erhält. Da an vielen Stellen, an denen ein Überholverbotschild aufgestellt ist, zusätzlich auch die Mittellinie durchgezogen ist, sollte es eigentlich möglich sein, dass ein *Lane Departure Warning*-System dies erkennt und beim Betätigen des Blinkers nach links eine Warnmeldung ausgibt. Dadurch wären Streckenabschnitte, an denen ein Überholverbot gilt, leichter zu identifizieren.

Tempobeschränkungen: Geschwindigkeitsbeschränkungen sind diejenigen Verkehrszeichen, deren Nichtbefolgung bei den vorliegenden Daten am häufigsten zur Unfallentstehung beitrug (19 Unfälle). Wie schon mehrfach erwähnt, ist jedoch eine genaue Angabe, wie viele Stundenkilometer genau ein Fahrer zu schnell fuhr, häufig nur schwer möglich. Daher muss bei oben genannten Zahlen von einer noch viel größeren Dunkelziffer ausgegangen werden. Hinzu kommt, dass geringere Tempoüberschreitungen für sehr viele Fahrer keine bewusste Regelverletzung, sondern eine schlechte Angewohnheit (Routineverstoß) sind.

Es ist schwierig abzuschätzen, wie viele Fahrer durch eine Information / Warnung einer Verkehrszeichenerkennung dazu bewegt werden können, die vorgeschriebene Geschwindigkeit einzuhalten oder zumindest nicht zu stark zu überschreiten. Dies wird entscheidend von der Gestaltung des Assistenzsystems abhängen.

In jedem Fall sinnvoll wäre eine permanente Visualisierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit in einem Display. Dahinter steht der Gedanke, dass der Fahrer grundsätzlich immer wissen sollte, wie schnell er maximal fahren darf. Dies gilt jedoch auch für Situationen, in denen keine spezielle Geschwindigkeitsbeschränkung durch ein Schild angezeigt wird. So könnte ihm z. B. auch „Tempo 50“ angezeigt werden, wenn er sich innerhalb und „Tempo 100“, wenn er sich außerhalb einer geschlossenen Ortschaft befindet – sofern das Tempo nicht durch eigene Verkehrszeichen geregelt wird. Ebenso sollte ihm auf der Autobahn die maximal erlaubte Geschwindigkeit angezeigt werden (in der Bundesrepublik Deutschland zumindest 130 km/h als empfohlene Richtgeschwindigkeit). Die Information über die zulässigen Geschwindigkeiten könnte die Verkehrszeichenerkennung aus Daten des Navigationssystems beziehen, das den Aufenthaltsort des Fahrzeugs kennt.

Zusätzlich zum Einblenden eines Symbols für die erlaubte Geschwindigkeit könnte auch eine Markierung oder die Zahl selbst an der Skala des Tachos optisch hervorgehoben werden (z. B. Beleuchtung der Zahl „50“ in einer anderen Farbe, wenn maximal Tempo 50 erlaubt ist, o. Ä.). Das permanente Visualisieren der zulässigen Höchstgeschwindigkeit hat auch den Vorteil, dass der Fahrer eine Geschwindigkeitsbeschränkung, die für einen längeren Streckenabschnitt gilt, nicht mehr so leicht „vergessen“ kann (z. B. auf längeren Abschnitten mit Baustellen auf der Autobahn).

Bei einem Überschreiten der Höchstgeschwindigkeit sollte ein akustisches Warnsignal ertönen.

Hier ist es allerdings wichtig, die Warnung erst nach dem Überschreiten einer bestimmten Toleranzschwelle auszugeben (z. B. mehr als 10 km/h zu schnell), da sonst der Fahrer durch ständige Warnungen bei normalen Temposchwankungen gestört würde und in der Folge das System abschalten könnte. Auch Ausnahmesituationen, in denen eine Überschreitung der Höchstgeschwindigkeit normal ist (z. B. bei einem Überholmanöver), sollte das Assistenzsystem erkennen können und eine Warnung unterlassen.

Bei Warnungen vor Geschwindigkeitsübertretungen ist bei vielen Fahrern mit einer eher geringen Akzeptanz zu rechnen. Insbesondere Fahrer aus Personengruppen, die generell zu höheren Geschwindigkeiten tendieren, wie z. B. jüngere, männliche Fahrer oder Fahrer stark motorisierter Fahrzeuge, sehen in Tempobeschränkungen oft nur eine lästige Norm, die sie an der freien Entfaltung ihrer Persönlichkeit hindert. Geschwindigkeitsbeschränkungen sind in ihren Augen eher für alle anderen (weniger geschickten) Autofahrer da, sie selbst fühlen sich jedoch aufgrund ihres sich selbst zugeschriebenen hohen Fahrkönnens weniger zur Einhaltung derartiger Normen verpflichtet.

Solche Autofahrer dürften sich sehr schnell belästigt fühlen, wenn sie bei ihren gewohnheitsmäßigen Tempoüberschreitungen permanent mit Warnmeldungen konfrontiert werden. Daher ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sie kurzerhand das gesamte System abschalten, was dazu führen würde, dass sie auch vor anderen Verkehrszeichen nicht mehr gewarnt werden. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll, wenn der Fahrer die Verkehrszeichenerkennung an seine individuellen Bedürfnisse anpassen könnte. So könnte z. B. durch den Benutzer wählbar sein, dass bei Geschwindigkeitsübertretungen überhaupt keine Warnung erfolgen soll bzw. oder dass sie erst bei Überschreitung von mehr als 20, 25 oder mehr km/h erfolgt.

Dies ist zwar eigentlich nicht gut, da grundsätzlich mit einer überhöhten Geschwindigkeit auch das Unfallrisiko ansteigt (Erhöhung des Risikos einer Unfallverursachung um 85 %, siehe Kapitel 4.6.1.2 „Einfluss von nicht angepasster Geschwindigkeit“), aber immer noch besser, als wenn für *alle* Verkehrszeichen keine Warnung mehr erfolgt. Denn gerade mit einer überhöhten Geschwindigkeit kann es dem Fahrer leichter passieren, dass er ein wichtiges Verkehrszeichen übersieht.

Warnschilder: Beim Erkennen eines Warnschildes dürfte es kaum sinnvoll sein, eine Warnmeldung auszugeben, da ja keine direkte Gefährdung des Fahrers gegeben ist. Ein Warnschild hat (obwohl es „*Warn*-Schild“ heißt) eher die Funktion, den Fahrer zu erhöhter Aufmerksamkeit anzuhalten. Insofern dürfte es hier wohl eher bei einer bloßen Information bleiben (dies hängt jedoch von der Art des Warnschildes ab).

Die Registrierung eines Warnschildes bietet jedoch in Kombination mit anderen Fahrerassistenzsystemen prinzipiell auch noch andere Möglichkeiten. Diese könnten vorgewarnt und automatisch in einen empfindlicheren Modus versetzt werden. So könnte beispielsweise bei einem Schild wie „Achtung, Kurve!“ (Zeichen 103 der StVO, § 40) oder „Achtung, Doppelkurve!“ (Zeichen 105) *Lane Departure Warning* automatisch eine größere *Time to Line Crossing (TLC)* wählen, um so den

Fahrer frühzeitiger vor einem Abkommen von der Straße zu warnen. Bei dem Zeichen „Achtung, Baustelle!“ (Zeichen 123) hingegen könnte der Fahrer rechtzeitig davor gewarnt werden, dass *Lane Departure Warning* nicht funktioniert und damit Probleme beim Übergang vom assistierten in den nicht assistierten Modus vermeiden helfen.

Bei Zeichen wie „Achtung, Stau!“ (Zeichen 124) oder „Achtung, Lichtzeichenanlage!“ (Zeichen 131) ist dagegen die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass ein vorausfahrendes Fahrzeug plötzlich bremsen muss; hier wäre eine automatisch erhöhte *Time to Collision (TTC)* von *Adaptive Cruise Control* von Vorteil, um einem Auffahrunfall vorzubeugen. Zeichen wie „Achtung, Fußgänger!“ (Zeichen 133), „Achtung, Fußgängerüberweg!“ (Zeichen 134) oder „Achtung, Kinder!“ (Zeichen 136) könnten eine Fußgängererkennung in einen empfindlicheren Zustand versetzen. Dies sind nur einige wenige Beispiele, wie sich durch Daten der Verkehrszeichenerkennung die Zuverlässigkeit und Effizienz anderer Fahrerassistenzsysteme verbessern ließe.

Auf der anderen Seite lässt sich auch die Wirksamkeit der Verkehrszeichenerkennung verbessern, wenn Informationen anderer Fahrerassistenzsysteme mit berücksichtigt werden. Bei erkannter Müdigkeit des Fahrers durch eine Aufmerksamkeitskontrolle könnte z. B. die Art der Warnung intensiver sein (z. B. lautere Warntöne), da die Wahrscheinlichkeit, dass der Fahrer ein Zeichen übersieht, erhöht ist. Denkbar wäre auch zu berücksichtigen, ob der Fahrer während der Fahrt das Navigationssystem benutzt oder nicht. Denn lässt sich ein Fahrer durch sein Navigationssystem führen, ist tendenziell eher davon auszugehen, dass ihm die Strecke weniger gut oder gar nicht bekannt ist; auch hier steigt die Wahrscheinlichkeit, wichtige Verkehrszeichen zu übersehen (vgl. das obige Fallbeispiel mit dem Übersehen des Stoppschilds!).

Sonstige Verkehrszeichen: Die übrigen Verkehrszeichen, deren Nichtbeachtung zu Unfällen führte, waren überwiegend „Richtungstafeln in Kurven“ (Zeichen 625). Die Fahrer kamen in diesen Fällen durch überhöhte Geschwindigkeit von der Fahrbahn ab. Bei der Registrierung eines solchen Zeichens könnte zusätzlich zu einer Information oder Warnung des Fahrers die *Time to Line Crossing* von *Lane Departure Warning* erhöht werden, um den Fahrer rechtzeitig vor einem Abkommen von der Fahrbahn zu warnen.

Generell sollte bei der Gestaltung der Informations- und Warnsignale der selbstverständliche Grundsatz gelten, dass der Fahrer nicht durch zu zahlreiche Informationen von der Fahraufgabe abgelenkt werden darf. Bei der hohen Dichte an Verkehrszeichen insbesondere im innerstädtischen Bereich ist dies keine leichte Aufgabe. Eine Art Filter, der zwischen unwichtigeren und wichtigeren Verkehrszeichen (z. B. vorfahrtsregelnde Zeichen) differenziert, wäre daher eventuell sinnvoll. Auch die grundsätzliche Unterscheidung zwischen Information des Fahrers (z. B. visuell als Symbol in einem Display) und Warnung (z. B. akustisch) vor einer drohenden Gefahr – wie einer zu hohen Geschwindigkeit vor einer engen Kurve oder einem beabsichtigten Überholvorgang im Überholverbot – ist unbedingt erforderlich. Bei all dem sollte der Fahrer Informationen der Verkehrszeichenerkennung immer nützlich und hilfreich empfinden, da er das System in dem Moment,

in dem er es als lästig oder belehrend ansieht, wahrscheinlich abschalten wird.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass der Nutzen einer Verkehrszeichenerkennung für die Unfallprävention deutlich nach unten korrigiert werden muss. Die zahlreichen Ausnahmeverstöße und Routineverstöße (überhöhte Geschwindigkeit) zeigen, dass viele Schilder absichtlich nicht beachtet wurden. Hier sollte man sich hinsichtlich der Beeinflussbarkeit des Fahrers keinen Illusionen hingeben. Somit beschränkt sich das eigentliche Potenzial auf die versehentlich nicht befolgten Verkehrszeichen: Betrachtet man nur diejenigen Fälle, bei denen ein Fahrer durch einen Fehler ein Verkehrszeichen versehentlich nicht befolgte, kommt man auf einen Anteil von 5.4 % (17 von 312) aller Unfälle. Inwieweit hier ein solches System einen Unfall verhindern kann, hängt von vielen Faktoren ab, v. a. von der Art des Verkehrszeichens und der Art der Information bzw. Warnung des Fahrers. Wie oben aufgezeigt, gibt es aufgrund der Verschiedenheit der Verkehrsschilder zudem eine Fülle von Detailproblemen zu lösen, damit eine Verkehrszeichenerkennung zu einem System wird, das vom Fahrer akzeptiert wird und ihm zugleich einen tatsächlichen Sicherheitsgewinn bringt.

4.7.16 Potenzial eines Spurwechselassistenten

Ein verunfallter Fahrer wurde dann als Fahrer mit einem Potenzial für einen Spurwechselassistenten klassifiziert, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:

1. Der Fahrer wechselte die Spur nach links oder rechts und übersah dabei ein Fahrzeug, das sich im Toten Winkel befand, wodurch es zu einer seitlichen Kollision kam,
2. oder der Fahrer wechselte die Spur nach links oder rechts, wodurch ein anderes Fahrzeug, das sich mit einer höheren Geschwindigkeit von hinten näherte, auf dessen Heck auffuhr bzw. zu einem Ausweichmanöver genötigt wurde und dadurch mit einem anderen Fahrzeug kollidierte,
3. oder der Fahrer wollte an einer Kreuzung oder Einmündung nach links abbiegen und übersah dabei ein Fahrzeug, das ihn überholen wollte,
4. oder der Fahrer wollte an einer Kreuzung oder Einmündung nach rechts abbiegen und übersah dabei einen auf einem parallelen Radweg in der gleichen Fahrtrichtung fahrenden Radfahrer
5. oder der Fahrer wollte wenden und übersah dabei ein von hinten kommendes Fahrzeug
6. oder der Fahrer wollte aus einer Parklücke herausfahren und übersah dabei ein von hinten kommendes Fahrzeug

7. oder der Fahrer verursachte einen Unfall, weil er bei seinem geparkten Fahrzeug eine Tür öffnete um auszusteigen und dabei einen von hinten kommenden Verkehrsteilnehmer (auch Radfahrer) übersah.

Für eine Klassifizierung war es *nicht* entscheidend, ob der Fahrer vor dem Spurwechsel (bzw. Abbiegen oder Türöffnen) in den Rückspiegel oder den Außenspiegel gesehen hatte oder ob er einen Schulterblick gemacht hatte. Zudem spielte es *keine* Rolle, ob er zuvor geblinkt hatte oder nicht.

Als *nicht* für einen Spurwechselassistenten geeignet klassifiziert wurde der Fahrer dann, wenn er versehentlich auf eine andere Fahrspur abkam oder wenn er in einer kritischen Situation (z. B. kurz vor einer drohenden Frontalkollision) zur Seite hin auf eine andere Spur in der Absicht auswich, schlimmere Unfallfolgen zu vermeiden und dadurch mit einem von hinten kommenden Fahrzeug kollidierte.

Von den untersuchten 312 Verkehrsunfällen besitzen 21 (6.7 %) ein Potenzial für einen Spurwechselassistenten. Der klassische Unfalltyp, bei dem ein vorausfahrender Fahrer auf einer mehrspurigen Fahrbahn die Fahrspur nach links wechselt und dabei mit einem schnelleren, von hinten kommenden Fahrzeug kollidiert, ereignete sich insgesamt in zehn Fällen (47.6 % aller „Spurwechselassistent-Unfälle"). Die übrigen Unfälle verteilten sich auf andere Unfallarten: In fünf Fällen (23.8 %) wollte ein Fahrer nach links in eine Seitenstraße abbiegen und kollidierte dabei mit einem von hinten kommenden Fahrzeug, das ihn überholen wollte, drei Unfälle (14.4 %) fanden im Zusammenhang mit dem Parken statt (rückwärts Ausparken, Herausfahren aus Parklücke am Fahrbahnrand, Öffnen der Fahrertüre beim Aussteigen) und drei Unfälle (14.4 %) durch Wendemanöver.

Tabelle 45: Übersicht über die verschiedenen Unfalltypen bei Verkehrsunfällen mit Potenzial für einen Spurwechselassistenten (Gesamtzahl aller Unfälle N=312)

Unfalltyp	**Häufigkeit**
Kollision mit schnellerem Fahrzeug des nachfolgenden Verkehrs durch Spurwechsel nach links auf mehrspuriger Fahrbahn	10 (47.6 %)
Kollision eines Linksabbiegers mit einem überholenden Fahrzeug	5 (23.8 %)
Unfall im Zusammenhang mit Parken	3 (14.3 %)
Kollision mit Fahrzeug des nachfolgenden Verkehrs durch Wendemanöver	3 (14.3 %)
Gesamt	21 (100.0 %)

Von den 21 Fahrern, die möglicherweise von einem Fahrerassistenzsystem profitiert hätten, waren 18 Fahrer die Verursacher des Unfalls (85.7 %). Nur drei Fahrer waren Unfallbeteiligte; es handelt

sich dabei um Unfälle, bei denen der vorausfahrende Unfallbeteiligte nach links abbog und dabei von einem nachfolgenden Unfallverursacher überholt wurde ($Chi^2(df=1, N=491) = 6.27, p<.001$). Alter, Geschlecht, Alkoholisierung und Müdigkeit spielten für dieses Assistenzsystem keine Rolle.

Sechs der 21 Fahrer gaben an, kurz vor dem Unfall in den *Rück*spiegel gesehen zu haben, acht sagten, diesen Blick unterlassen zu haben. Die übrigen sieben Fahrer können sich nicht mehr erinnern bzw. es war kein Interview mit ihnen möglich. Vier Fahrer sagten, sie hätten kurz zuvor in den *Außen*spiegel gesehen, neun verneinten dies. Insgesamt ein Drittel der Fahrer (sieben von 21) sah vor dem Spurwechsel, Linksabbiegen oder Wenden weder in den Rück- noch in den Außenspiegel (bei einem weiteren Drittel ist dies nicht bekannt). Schließt man diejenigen Fahrer von der Auswertung aus, bei denen das Blickverhalten nicht bekannt ist, so zeigt sich, dass von den Fahrern mit einem Potenzial für einen Spurwechselassistenten 57.1 % nicht in den Rückspiegel und 69.2 % nicht in den Außenspiegel sahen.

Alle Unfälle (mit einer Ausnahme), die sich nach einem Spurwechsel ereigneten, waren Unfälle, bei denen ein von hinten kommendes schnelleres Fahrzeug auf das Heck eines vorausfahrenden, langsamer fahrenden Fahrzeugs, das die Spur nach links wechselte, auffuhr. Nur in einem einzigen Fall kam es zu einer seitlichen Kollision der beiden Fahrzeuge: Bei diesem Unfall im Stadtverkehr fuhren zwei Fahrzeuge mit annähernd gleicher Geschwindigkeit nebeneinander und das rechte, leicht nach vorne versetzte Fahrzeug wechselte die Spur nach links.

Die Kollisionsart ist ein wichtiger Aspekt zur Beurteilung der Frage, ob sich das von hinten kommende Fahrzeug im Toten Winkel befand oder nicht. Bei einer Kollision der Fahrzeugseiten besteht die Möglichkeit, dass das hintere Fahrzeug sich zuvor im Toten Winkel des vorderen Fahrzeugs befand. Bei einer Front-Heck-Kollision jedoch ist davon auszugehen, dass das von hinten kommende Fahrzeug prinzipiell über den Rück- bzw. Außenspiegel zu sehen gewesen wäre.

Da es sich bei den hier untersuchten Unfällen nach Spurwechseln fast durchgehend um Front-Heck-Kollisionen handelt, ist daraus zu schließen, dass diese Unfälle nicht entstanden, weil sich ein Fahrzeug im Toten Winkel befand und der Fahrer beispielsweise den Schulterblick unterließ, sondern weil er ein Fahrzeug übersah, das sich mit höherer Differenzgeschwindigkeit von hinten näherte. Für diese Unfälle gibt es drei Hauptursachen: Entweder sah der Fahrer überhaupt nicht in Rück- oder Außenspiegel oder er benutzte diese, übersah aber dennoch das von hinten kommende Fahrzeug (→ beides Informationsfehler). Bei drei Unfällen gaben die Fahrer zudem an, sie hätten zwar in den Spiegeln das von hinten kommende Fahrzeug gesehen, hätten jedoch die tatsächliche Geschwindigkeit unterschätzt – in diesen Fällen handelt es sich um Diagnosefehler; sie traten bei Unfällen mit Potenzial für einen Spurwechselassistenten besonders häufig auf ($Chi^2(df=1, N=472) = 10.24, p<.01$).

Bei diesen Unfällen, denen ein Spurwechsel vorausging, ist die Frage, welcher Fahrer den Unfall verursachte, meist nicht eindeutig zu klären. Zwar wurde bei allen Unfällen mit vorausgehendem

Spurwechsel von der Polizei immer der spurwechselnde Fahrer als Verursacher eingestuft, aber dennoch ist aus verkehrspsychologischer Sicht in fast allen Fällen auch immer der von hinten kommende Fahrer an der Unfallverursachung (teils erheblich) mit verantwortlich. Aus diesem Grund werden im Folgenden nicht wie sonst die Begriffe „Verursacher" und „Beteiligter" verwendet, sondern die Begriffe „Vorausfahrender" und „Nachfolgender".

In der Regel übersah der Vorausfahrende den Nachfolgenden – entweder aus Versehen oder weil er überhaupt nicht auf den nachfolgenden Verkehr achtete. Der Nachfolgende hingegen übersah häufig, dass der Vorausfahrende blinkte, und fuhr oft zu schnell. Von den zehn Unfällen nach einem Spurwechsel fuhr in fünf Fällen der Nachfolgende zu schnell (bei drei davon sogar viel zu schnell), in zwei Fall genau richtiger Geschwindigkeit und in den übrigen drei Fällen ist eine sichere Beurteilung nicht möglich. Andererseits machten aber auch fünf Vorausfahrende dieses Unfalltyps den Fehler, die Spur zu wechseln, obwohl ihr Tempo zu gering war (z. B. unmittelbar nach dem Auffahren auf eine Autobahn). Dies sind nebenbei bemerkt die äußerst seltenen Fälle, bei denen eine zu *geringe* Geschwindigkeit zur Unfallentstehung beitrug.

Bei den fünf Unfällen, bei denen ein Nachfolgender einen Vorausfahrenden überholte, der links abbiegen wollte, war (mit einer Ausnahme) aufgrund der Überholabsicht die Geschwindigkeit größer als die zulässige Höchstgeschwindigkeit; das Problem bei diesen Unfällen war jedoch v. a. das aggressive und riskante Verhalten des Nachfolgenden, gepaart mit fehlender Umsicht (gesetzten Blinker nicht gesehen). Anstatt einen ausreichenden Sicherheitsabstand zum Vorausfahrenden einzuhalten, der vor dem beabsichtigten Linksabbiegen selbstverständlich seine Geschwindigkeit reduzieren musste, betrachteten sie diesen als Hindernis und setzten zum Überholvorgang an.

In diesem Zusammenhang ist es erwähnenswert, dass alle nachfolgenden Fahrer, die auf ein vorausfahrendes spurwechselndes Fahrzeug oder einen Linksabbieger auffuhren, Männer waren. An solchen Unfällen beteiligte Frauen saßen ausschließlich in den vorausfahrenden Fahrzeugen. Alle nachfolgenden Fahrer, die durch überhöhte Geschwindigkeit und/oder aggressives Fahrverhalten auffielen, fuhren (mit einer Ausnahme) stärker motorisierte Fahrzeuge der Mittelklasse oder höher.

Anders hingegen bei den Unfällen im Zusammenhang mit Parken oder nach einem Wendemanöver: Diese wurden ausschließlich von den Fahrern der vorausfahrenden Fahrzeuge verursacht. Zwei der drei Unfälle nach einem Wendemanöver ereigneten sich, nachdem sich die Fahrer verfahren hatten (für einen dieser beiden Fahrer war die zu fahrende Wegstrecke völlig unbekannt); sie waren daher vom Verkehrsgeschehen abgelenkt, weil sie versuchten, ihren vorausgegangenen Fehler zu korrigieren.

4.7.17 Empfehlungen für die Gestaltung eines Spurwechselassistenten

In Funktionsbeschreibungen eines Assistenzsystems zum Spurwechsel wird gerne die Funktion der automatischen Erkennung des Toten Winkels betont. Für den Autofahrer und Kunden mag dies

eine sehr wünschenswerte Funktion sein (mehr als drei Viertel aller westeuropäischen Autofahrer wünschen sich ein solches System, vgl. VDI nachrichten, 2002, S. 24): Eine Kamera oder ein Radarsensor registriert den kritischen Bereich, der durch Blicke in den Spiegel nicht einsehbar ist und das System warnt den Fahrer, falls sich bei einem beabsichtigten Spurwechsel ein anderes Fahrzeug in diesem Bereich befindet. Auch wenn der Tote Winkel durch einen Blick über die Schulter problemlos einsehbar ist, dürfte eine solche Funktion dennoch dem Fahrer das Gefühl besserer Kontrollierbarkeit und damit größerer Sicherheit vermitteln.

Aus den vorliegenden Daten muss man jedoch den Schluss ziehen, dass die Gefahr des Toten Winkels massiv überschätzt wird. Unter den untersuchten 312 Unfällen befindet sich lediglich ein einziger Unfall, bei dem die Ursache auf ein übersehenes Fahrzeug im Toten Winkel zurückzuführen ist (0.3 % aller Unfälle). Alle von hinten auffahrenden Unfallgegner wären prinzipiell durch aufmerksame Blicke in Rück- und Außenspiegel zu sehen gewesen. Der von hinten kommende Verkehrsteilnehmer wurde schlicht übersehen bzw. in seiner Geschwindigkeit unterschätzt – Fehler wie sie sich ebenso bei Unfällen ereignen, bei denen der Unfallgegner von vorne oder von der Seite kommt.

Das eigentliche Problem sind vielmehr zwei Punkte: Erstens benutzen die Fahrer vor dem Spurwechsel oder Abbiegen zu selten den Rück- und Außenspiegel: 57.1 % gaben zu, zuvor nicht in den Rückspiegel und 69.2 % nicht in den Außenspiegel gesehen zu haben. Einen Schulterblick hatten die meisten Fahrer nach eigener Aussage ebenfalls nicht gemacht, was jedoch mit Ausnahme des einen „echten“ Tote-Winkel-Unfalls ohnehin nicht relevant war. Das zweite Problem sind zu hohe Differenzgeschwindigkeiten (insbesondere auf der Autobahn mit sehr hohen Geschwindigkeiten auf der Überholspur) und rücksichtslos-aggressives Fahren seitens der nachfolgenden Fahrzeuge. Bei Differenzgeschwindigkeiten auf der Autobahn von 60, 80 km/h und mehr ist es nicht überraschend, wenn ein Fahrer bei einem etwa eine Sekunde dauernden Blick in den Spiegel (sofern er denn schaut) ein von hinten mit hoher Geschwindigkeit kommendendes Fahrzeug übersieht.

Für die Auslegung eines Spurwechselassistenten bedeutet dies: Wesentlich wichtiger als die Überwachung des Toten Winkels mit einer Kamera ist die Überwachung des weiter hinter dem Fahrzeug liegenden Bereichs. Das System muss in der Lage sein, weiter entfernte Fahrzeuge zu erkennen und die Differenzgeschwindigkeit zuverlässig zu ermitteln. Ein System für den deutschen Markt müsste aufgrund des fehlenden generellen Tempolimits auf deutschen Autobahnen zudem auch mit sehr großen Differenzgeschwindigkeiten umgehen können (Differenz größer als 100 km/h), da gerade mit *hoher* Geschwindigkeit heranfahrende Fahrzeuge für den Fahrer ein Problem darstellen, bei dem er die Unterstützung eines Assistenzsystems benötigt. Das bedeutet, dass eine oder mehrere Kameras einen sehr weiten, hinter dem Fahrzeug liegenden Bereich erfassen müssen.

Wie auch bei anderen Fahrerassistenzsystemen stellt sich bei einem Spurwechselassistent die

Frage, inwieweit es bei den Autofahrern zu Verhaltensadaptationen kommen wird. Da die deutliche Mehrheit der Fahrer zugab, vor dem Ausscheren nicht in Rück- und Außenspiegel gesehen zu haben, liegt die Vermutung nahe, dass dieser Anteil noch steigen wird, wenn der Fahrer ein technisches System besitzt, an das er aus Bequemlichkeit diese Aufgabe abgeben kann.

Da (insbesondere auf Autobahnen) die Blicke in den Rückspiegel, in den Außenspiegel und der Schulterblick als Handlungskette zumeist hoch automatisiert sind, könnten sich einige Fahrer mit Spurwechselassistent diese Blickfolge generell abgewöhnen und sie vor Spurwechseln grundsätzlich nicht mehr vollziehen. Dies würde zu einem erheblichen Anstieg des Unfallrisikos führen, da das technische System nicht völlig fehlerfrei funktionieren wird (z. B. aufgrund von starkem Nebel, Kurven oder Sichtverdeckung durch andere Fahrzeuge).

Zudem wäre es denkbar, dass einige Fahrer, anstatt in die Spiegel zu sehen, lieber den Blinker setzen und abwarten, ob eine Warnung erfolgt. Bleibt die Warnung aus, wechseln sie die Fahrspur, erfolgt sie, setzen sie den Blinker zurück und behalten die Fahrspur bei. Durch dieses „Blinken zur Probe“ könnte es jedoch sein, dass Fahrer, die sich mit hoher Geschwindigkeit von hinten nähern, stark bremsen müssen, da sie davon ausgehen, dass das vorausfahrende Fahrzeug gleich auf ihre Spur wechselt. Ein solches starkes Bremsmanöver könnte jedoch zu Auffahrunfällen im nachfolgenden Verkehr führen oder sogar zu einem Kontrollverlust über das Fahrzeug, wenn der Fahrer während der Vollbremsung vor Schreck eine ruckartige Lenkbewegung macht.

Der Tendenz mancher Autofahrer, aus Bequemlichkeit nicht in die Spiegel zu sehen, könnte dadurch entgegengesteuert werden, indem die Information darüber, ob die Fahrspur frei ist, auf optischem Weg an den Spiegeln selbst gegeben wird, z. B. durch Leuchtdioden an den Außenspiegeln. Dadurch ist der Fahrer genötigt, in die Spiegel zu blicken, wenn er die Information des Systems nutzen möchte.

Zusätzlich zu dieser optischen Information des Fahrers über den Status der Fahrspur neben ihm (frei / nicht frei) muss es jedoch noch eine weitere Warnstufe höherer Dringlichkeit geben, nämlich dann, wenn er den Blinker setzt, obwohl die Fahrspur nicht frei ist und evtl. noch eine dritte Stufe, wenn er trotz Verkehrs seine Fahrspurbegrenzungslinie überfährt. Die Warnsignale der zweiten und dritten Stufe sollten in abgestufter Intensität entweder akustisch (Warnton) oder haptisch (z. B. Lenkradvibration, Lenkimpuls) erfolgen. Bei einem akustischen Signal wäre es sinnvoll, das Stereolautsprechersystem des Autos zu nutzen und je nachdem, von wo die Gefahr droht, den Warnton über den linken Lautsprecher (z. B. Spurwechsel auf der Autobahn) oder dem rechten (z. B. Radfahrer auf dem Radweg bei beabsichtigtem Rechtsabbiegen) auszugeben.

Wichtig ist es, dass die Warnsignale des Spurwechselassistenten von den Warnsignalen von *Lane Departure Warning* verschieden sind, da dies ansonsten zu Missverständnissen beim Fahrer führen könnte. Der Fahrer könnte z. B. denken, die Warnung vor einem von hinten kommenden Fahrzeug sei die Warnung von *Lane Departure Warning* und sein Auto würde fälschlicherweise davon

ausgehen, er komme versehentlich von der Spur ab und würde ihn davor warnen wollen. In diesem Fall würde er das Warnsignal falsch diagnostizieren und die Spur dennoch wechseln, was zu einem Auffahrunfall führen würde.

Legt man das System so aus, dass eine Warnung nur dann erfolgt, wenn der Blinker gesetzt wird, besteht die Gefahr, dass Fahrer, die nicht blinken, sich dennoch auf den Spurwechselassistenten verlassen, jedoch in dieser Situation gar keine Warnung erhalten können. Dies ist insbesondere im Stadtverkehr auf mehrspurigen Straßen ein Problem, wo zahlreiche Fahrer das Blinken bei Spurwechseln unterlassen und gleichzeitig die Wahrscheinlichkeit eines Fahrzeugs im Toten Winkel aufgrund des relativ homogenen Verkehrsflusses am größten ist.

Zuletzt sei noch ein weiteres Potenzial des Spurwechselassistenten hingewiesen, einen „Türöffnungsassistenten“: Ein Unfall ereignete sich, weil eine Fahrerin aus einem parkenden Auto aussteigen wollte, die Fahrertür öffnete und dabei einen von hinten kommenden Radfahrer übersah. In einer solchen Situation wäre es sinnvoll, wenn das System im Moment des Türöffnens ein akustisches Warnsignal gäbe, falls sich ein anderes Fahrzeug von hinten nähert. Dies gilt ebenso für die Beifahrertür, durch deren Öffnen häufig Radfahrer auf einem parallel entlangführenden Radweg gefährdet werden.

Das System müsste dazu eine Nachlaufzeit von einigen Minuten besitzen, auch dann, wenn das Auto bereits steht, der Motor ausgeschaltet und der Zündschlüssel aus dem Schloss entfernt ist. Zwar mag dies ein technisches Problem darstellen, da hierzu die Stromversorgung der Kamera noch eine Zeitlang aufrechterhalten werden muss, doch dies sollte lösbar sein. Ein Auto, das beim Aussteigen mit einem Warnton den Fahrer warnt, wenn er vergessen hat, das Licht auszuschalten und somit Gefahr läuft, dass sich die Autobatterie entleert, sollte auch in der Lage sein, den Fahrer zu warnen, wenn er durch einen Fehler Gesundheit und Leben eines anderen Verkehrsteilnehmers gefährdet.

5 Diskussion

5.1 Zusammenfassende Bewertung des Unfallvermeidungspotenzials von Fahrerassistenzsystemen

Inwieweit lassen sich Verkehrsunfälle durch den Einbau von Fahrerassistenzsystemen in Fahrzeuge verhindern? In den Kapiteln 4.7.1 bis 4.7.17 wurde ausführlich auf typische Unfallursachen und Kombinationen von Risikofaktoren von Unfällen eingegangen, für die ein bestimmtes Assistenzsystem möglicherweise eine Verbesserung brächte. In diesem Abschnitt werden die einzelnen Systeme hinsichtlich ihres Potenzials für eine Unfallprävention miteinander verglichen.

Die konkrete Leistungsfähigkeit eines System kann hierbei selbstverständlich nicht beurteilt werden, da sie nicht untersucht wurde – schließlich befinden sich die diskutierten Assistenzsysteme noch in der Entwicklung. Dennoch ist es möglich, ausgehend von der Analyse realer Unfälle, ein *maximales* Potenzial anzugeben, das ein System *im günstigsten Fall* haben kann. Dieses muss durch eine differenzierte Betrachtung der Unfallursachen und der Risikofaktoren, die zur Unfallentstehung beigetragen haben, nach unten korrigiert werden (wie in den Kapiteln 4.7.2 bis 4.7.17 geschehen), um zu einer realistischen Einschätzung zu gelangen, die der Realität von Verkehrsunfällen in der Praxis gerecht wird.

Vergleicht man den Nutzen der einzelnen Fahrerassistenzsysteme für eine Unfallprävention miteinander, muss festgestellt werden, dass das mit großem Abstand wichtigste und vielversprechendste Assistenzsystem die **Automatische Notbremse** ist. Erst mit großem Abstand folgen gleichauf das zweite Anti-Kollisionssystem, nämlich *Adaptive Cruise Control*, und das Spurassistenzsystem *Lane Departure Warning*.

Der Grund für diesen deutlichen Vorsprung der Automatischen Notbremse ist v. a., dass es nicht nur ein System ist, das beim unfallverursachenden Fahrer (56.8 % aller Verursacher) wirken kann, sondern ebenso beim unfallbeteiligten Fahrer (67.5 % aller Unfallbeteiligten). Es hat nicht nur einen Anwendungsbereich in ganz spezifischen Situationen, z. B. nur bei Dunkelheit oder nur bei Müdigkeit, sondern ganz generell (fast) immer dann, wenn zwei Fahrzeuge miteinander kollidieren, was für die meisten Unfälle der Fall ist.

Da die Automatische Notbremse das größte Unfallvermeidungspotenzial besitzt, wäre es im Interesse der allgemeinen Verkehrssicherheit äußerst wünschenswert, wenn seitens der Automobilhersteller die Entwicklung dieses Systems – notfalls auch auf Kosten anderer Assistenzsysteme – priorisiert würde und verstärkt Anstrengungen unternommen würden, dieses Potenzial auch möglichst gut auszuschöpfen. Dies setzt insbesondere eine möglichst gute Situationserkennung voraus, so dass beispielsweise auch gegnerische Fahrzeuge, die von der Seite in die Fahrspur des Fahrzeugs mit Automatischer Notbremse fahren, schnell und sicher erkannt werden können.

Besonders wünschenswert wäre es also, dass nicht nur der vor dem Fahrzeug liegende Bereich, sondern ebenso die seitlichen Bereiche des Fahrzeugs erfasst würden, so dass von der Seite nahende Gefahren erkannt werden können. Gerade wegen des hohen Anteils von Kreuzungsunfällen von rund einem Viertel aller untersuchten Unfälle steckt allein in dieser Funktion ein größeres Unfallvermeidungspotenzial als in den meisten anderen Assistenzsystemen. Dadurch könnte das Notbremssystem bei typischen Kreuzungsunfällen nicht nur beim vorfahrtsberechtigten Unfallbeteiligten eingesetzt werden, der sich in voller Fahrt befindet, sondern auch beim wartepflichtigen Unfallverursacher, der vor der Kreuzung seine Geschwindigkeit stark reduzierte oder sogar anhielt, dann jedoch wieder beschleunigte, weil er ein von der Seite kommendes Fahrzeug übersah (siehe auch Kapitel 4.7.3, „Empfehlungen für die Gestaltung einer Automatischen Notbremse“).

Außer von der Güte der Situationserkennung hängt die Wirkung einer Automatischen Notbremse jedoch auch vom Zeitpunkt ab, zu dem die Notbremsung ausgelöst wird. Er entscheidet darüber, ob ein Unfall gänzlich verhindert oder nur in seiner Schwere reduziert werden kann. Es ist zu hoffen, dass Automobilhersteller nicht aus Angst vor Regressforderungen bei Fehlauslösungen sich dazu entschließen, eine Notbremsung erst dann auszulösen, wenn ein Unfall nicht nur sehr wahrscheinlich, sondern nach den Gesetzen der Physik absolut unausweichlich ist. Damit wären sie zwar rechtlich auf der sicheren Seite, doch würden dadurch zahlreiche Unfälle (mit Verletzten und Toten) geschehen, die durch die vorhandene Technik vermeidbar gewesen wären. Hier ist jedoch auch der Gesetzgeber gefragt, die notwendigen gesetzlichen Rahmenbedingungen zu schaffen, die einen sinnvollen Einsatz dieser Technik ermöglichen.

Die Automatische Notbremse ist im Vergleich zu anderen Systemen auch deswegen so effektiv, weil sie aktiv ins Fahrgeschehen eingreift, während andere Systeme in der Regel lediglich informieren oder warnen und darauf angewiesen sind, dass der Fahrer die Warnung rechtzeitig wahrnimmt und korrekt in Handlung umsetzt bzw. überhaupt in Handlung umsetzten *will*.

Zudem muss bedacht werden, dass Fehler beim Autofahren grundsätzlich selten vorkommen. Wenn diese jedoch geschehen und wenn sich abzeichnet, dass daraus ein Unfall resultiert, besitzt der Fahrer als letzte Sicherheit eine automatisch eingreifende Notbremse. Bei anderen Fahrerassistenzsystemen muss jedoch der Fahrer häufig informiert oder gewarnt werden, auch in solchen Situationen, aus denen sich gar keine kritische Situation oder gar ein Unfall entwickelt hätte, da er immer noch so aufmerksam ist, dass er folgenschwere Fehler vermeiden kann (z. B. dass er ein Verkehrszeichen *nicht* übersieht oder trotz Müdigkeit *nicht* einschläft).

Während die Automatische Notbremse das System mit dem größten Unfallvermeidungspotenzial ist, muss festgestellt werden, dass **Night Vision** und das **Adaptive Kurvenlicht** mit Abstand am wenigsten zur Unfallprävention beitragen können. Aus den in den Kapiteln 4.7.10 bis 4.7.13 aufgeführten Ergebnissen geht klar hervor, dass die untersuchten Unfälle nicht deswegen geschahen, weil die Fahrer aufgrund der Dunkelheit schlecht sahen. Die eigentlichen Ursachen dieser Unfälle waren Alkoholisierung, Übermüdung und fast immer eine zu hohe Geschwindigkeit. Insbesondere

das Unfallvermeidungspotenzial eines Adaptiven Kurvenlichts geht daher gegen Null.

Night Vision und Adaptives Kurvenlicht erweitern lediglich den Sichtbereich des Fahrers. Da jedoch die Unfälle nicht aufgrund schlechter Sicht entstanden, können damit auch keine (oder kaum) Unfälle verhindert werden. Das Adaptive Kurvenlicht hätte zudem nur dann einen Sinn zur Unfallprävention, wenn die schwenkbaren Scheinwerfer bereits rechtzeitig vorher in eine Kurve leuchten würden (was durch eine Anbindung an GPS realisierbar wäre) und nicht erst (auf der Grundlage von Fahrzeugdaten), wenn sich der Fahrer bereits in der Kurve befindet und das Lenkrad bereits eingeschlagen hat. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass der eigentliche Sinn eines Adaptiven Kurvenlichts nur sein kann, den Fahrer rechtzeitig auf eine kommende Kurve aufmerksam zu machen. Das heißt jedoch, dass diese Information, wenn sie etwas nützen soll, zu einem Zeitpunkt kommen muss, *bevor* der Fahrer schon selbst die Kurve erkannt hat.

Die Daten haben auch deutlich gemacht, dass die beiden vielbeschworenen Gefahrenquellen, mit denen die Industrie potenziellen Kunden die Notwendigkeit eines Adaptiven Kurvenlichts einzureden versucht – nämlich plötzliche Hindernisse in engen Kurven und plötzlich auf die Straße tretende Fußgänger bei Abbiegevorgängen (→ Abbiegelicht) – in der Praxis bedeutungslos sind (vgl. Punkte 4.7.12 und 4.7.13). Psychologisch gesehen ist die Angst der Autofahrer vor solchen Gefahren nachvollziehbar, da es sich um Risiken handelt, die als von außen kommend erlebt werden und sich der eigenen Kontrolle entziehen. Tatsache ist jedoch, dass genau die Risiken, die der Fahrer kontrollieren kann und die er freiwillig eingeht – wie z. B. das alkoholisierte oder zu schnelle Fahren – die nächtlichen Fahrunfälle in Kurven verursachen. Das Vermarkten eines Adaptiven Kurvenlichts mit dem Argument, es würde die Verkehrssicherheit steigern, ist daher unehrlich und unseriös.

Ähnliches gilt – wenngleich auch nicht im selben Ausmaß – für *Night Vision*. Wie auch beim Adaptiven Kurvenlicht sollte man es besser als System bezeichnen, das den Fahrkomfort, aber nicht die Verkehrssicherheit erhöht, um beim Fahrer (Kunden) keine falschen Erwartungen zu wecken. *Night Vision* besitzt zwar ein Potenzial zur Vermeidung von Verkehrsunfällen, aber es ist sehr klein (ca. 2 % aller Unfälle; vgl. Punkte 4.7.10 und 4.7.11; vgl. auch das Resümee von Braess und Reichart, 1995). Wie gut dieses Potenzial ausgeschöpft werden kann, hängt von der konkreten Gestaltung des Systems ab, z. B. von der Größe und Art des Displays und des gezeigten Ausschnitts. Dies kann jedoch an dieser Stelle nicht beurteilt werden. In der Praxis wird sich zeigen, wie sehr die Fahrer die Zusatzinformation, die ihnen *Night Vision* bietet, als hilfreich und als tatsächliche Erleichterung empfinden und inwieweit sie es vorziehen, auf ein Display mit einem kleinen, weiter entfernten Ausschnitt der Fahrbahn zu sehen anstatt auf die direkt vor ihnen liegende Straße.

Beim **Spurwechselassistenten** findet man ebenfalls eine starke Diskrepanz zwischen der Funktionalität, mit der er von den Automobilherstellern beworben wird und der Realität solcher Unfälle. Gerne betont wird die Überwachung des Toten Winkels und die Warnung des Fahrers, falls er bei einem beabsichtigten Spurwechsel ein dort befindliches Fahrzeug übersieht. Die Daten haben

jedoch gezeigt, dass derartige Unfälle verglichen mit anderen Ursachen völlig bedeutungslos sind. Gerade einmal ein einziger Unfall (0.3 %) ereignete sich auf diese Weise. (Zum Vergleich: Die Wahrscheinlichkeit, aufgrund einer Ohnmacht oder eines Schwächeanfalls einen Unfall zu verursachen, war bei den untersuchten Unfällen fünfmal so groß.) Auch hier zeigt sich wieder, dass das subjektive Risiko der Fahrer (mehr als drei Viertel aller westeuropäischen Autofahrer wünschen sich ein solches System, vgl. VDI nachrichten, 2002, S. 24) und das objektive Risiko stark divergieren. Es muss daher betont werden, dass die vom Toten Winkel ausgehende Gefahr in drastischer Weise überschätzt wird.

In Wirklichkeit waren diese Spurwechsel-Unfälle Auffahrunfälle. Die auffahrenden Fahrzeuge befanden sich zum Zeitpunkt des Ausscherens der vorausfahrenden Fahrzeuge nicht im Toten Winkel, sondern viel weiter hinten und wären prinzipiell über die Spiegel problemlos zu erkennen gewesen. Die Hauptunfallursache war jedoch, dass die Mehrheit der ausscherenden Fahrer vor dem Spurwechsel nicht in die Spiegel sah (57.1 % gaben zu, zuvor nicht in den Rückspiegel und 69.2 % nicht in den Außenspiegel gesehen zu haben). Es handelt sich hier also um Fehler aus Nachlässigkeit, die durch einfachste Verhaltensregeln vermeidbar wären. Insofern stellt sich sogar die Frage, ob es nicht kontraproduktiv ist, Autofahrern ein solches Assistenzsystem zur Verfügung zu stellen, da zu befürchten ist, dass viele dieser Fahrer sich die Blicke in die Spiegel dann erst recht abgewöhnen.

Eine weitere Hauptursache dieser Unfälle waren zu hohe Differenzgeschwindigkeiten. Diese kamen v. a. dadurch zustande, dass die auffahrenden Fahrer zu schnell fuhren. Insbesondere auf der Autobahn mit ohnehin schon großen Geschwindigkeitsdifferenzen zeigte sich dies als großes Risiko. Hinzu kamen bei einigen Auffahrenden eine aggressive, rücksichtslose und leichtsinnige Fahrweise. Dieses Problem könnte durch ein generelles Tempolimit auf Autobahnen und der damit verbundenen Homogenisierung des Verkehrsflusses entschärft werden.

Für die Entwicklung des Spurwechselassistenten bedeutet dies: Für die Vermeidung von Unfällen ist die Überwachung des Toten Winkels unwichtig. Entscheidend ist vielmehr, einen großen, hinter dem Fahrzeug liegenden Bereich der Straße mit einer oder mehreren Kameras zu erfassen, um Fahrzeuge erkennen zu können, die sich mit hoher Geschwindigkeit sich nähern.

Das Potenzial von **Adaptive Cruise Control** ist beachtlich hoch: Rund ein Fünftel aller Unfälle könnte dadurch möglicherweise verhindert werden. Wie gut dieses Potenzial ausgenutzt wird, hängt von der konkreten Auslegung von ACC ab. Für eine erfolgreiche Unfallprävention muss es das Ziel sein, die beiden häufigsten Fehlverhaltensweisen bei Auffahrunfällen, nämlich zu schnelles Fahren und mangelnden Sicherheitsabstand, zu reduzieren. Das bedeutet, dass sehr kurze Sicherheitsabstände (*Time to Collision*) gar nicht erst wählbar sein sollten. Zwar dürften dies viele Autofahrer als Beeinträchtigung ihres Fahrspaßes sehen, da ihnen dadurch ein dichtes Auffahren und zügiges Überholen erschwert wird, aber wenn man ACC als Sicherheitssystem begreift, muss man diese Einschränkung eben in Kauf nehmen. Auch wenn Fahrerassistenzsysteme meist so-

wohl den Fahrkomfort als auch die Sicherheit erhöhen, lässt sich nicht wegdiskutieren, dass manche Fahrstile und Verhaltensweisen mit der Verkehrssicherheit nicht vereinbar sind.

Das bedeutet für die zweite wichtige Fehlverhaltensweise bei Auffahrunfällen, nämlich überhöhter Geschwindigkeit, dass auch sie durch ACC, wenn schon nicht reduziert, dann zumindest nicht gefördert werden sollte. Aus diesem Grund sollte ACC ab einer bestimmten Geschwindigkeit (z. B. 150 km/h) nicht mehr verfügbar sein, um dadurch die Missbrauchsmöglichkeit als „Beihilfe zum Rasen“ einzuschränken. Wählt der Fahrer dennoch höhere Geschwindigkeiten, weiß er, dass er für negative Konsequenzen allein verantwortlich ist und in kritischen Situationen nicht auf die Unterstützung durch ein technisches System bauen kann.

Das Potenzial von **Lane Departure Warning** ist grundsätzlich ähnlich hoch wie das von ACC. Es gibt jedoch einen entscheidenden Unterschied: Während ein Großteil der „ACC-Unfälle“ oft nur durch eine kurze Unaufmerksamkeit, verbunden mit einem zu geringen Sicherheitsabstand und einem unglücklichen Zufall (z. B. plötzlich bremsendes vorausfahrendes Fahrzeug) entstand, verhält es sich mit Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn anders: Hier waren es nicht nur kleine Flüchtigkeitsfehler, die jedem jederzeit passieren können, sondern häufig kamen schwere Verstöße hinzu. Dies sind insbesondere das alkoholisierte Fahren (ein Fünftel der Fahrer, die Hälfte davon mit über 1.1 Promille), das Fahren trotz starker Müdigkeit (ein Fünftel der Fahrer, teilweise mit Sekundenschlaf) und vor allem überhöhte Geschwindigkeit (70 % der Fahrer, teilweise mit extrem überhöhter Geschwindigkeit). Diese Ursachen schmälern das Unfallvermeidungspotenzial von *Lane Departure Warning* erheblich. Denn das Problem bestand bei diesen Fahrern meist nicht in einer einzigen kritischen Situation, einer kurzen Unaufmerksamkeit, die durch eine einmalige Warnung des Assistenzsystems behoben worden wäre; es bestand vielmehr in einer permanenten Verkehrsgefährdung über einen längeren Zeitraum hinweg.

Bei einem stark alkoholisierten Fahrer mit 1.5 Promille Blutalkohol ist es beispielsweise nicht damit getan, ihn auf seiner Fahrt ein einziges Mal vor dem Abkommen von der Fahrspur zu warnen. In seinem Zustand ist er definitiv absolut fahruntüchtig und nicht mehr in der Lage, ein Fahrzeug sicher zu steuern. Er läuft nicht nur in einer ganz bestimmten Situation Gefahr, von der Fahrspur abzukommen, sondern während der ganzen Fahrt. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass *Lane Departure Warning* bei einem solchen Fahrer einen wirklichen Sicherheitsgewinn darstellt. Selbst wenn in einer bestimmten kritischen Situation die Warnung des Systems noch rechtzeitig kommt, so kommt sie in irgendeiner der zahlreichen anderen kritischen Situationen wahrscheinlich dennoch zu spät.

Ähnliches gilt – wenn auch mit Abstrichen – für Fahrer, die mit viel zu hoher Geschwindigkeit auf der Landstraße oder Autobahn fahren und dabei von der Straße abkommen. Auch sie befinden sich auf ihrer Fahrt in einer permanenten, latenten Gefährdungssituation, auch wenn sie dies subjektiv nicht so empfinden. Will man diese Arten von Unfällen reduzieren, muss man daher das Problem bei der Wurzel packen und – auf welche Weise auch immer – verhindern, dass Fahrer

alkoholisiert oder mit überhöhter Geschwindigkeit fahren. Auf eine Erhöhung der Verkehrssicherheit durch *Lane Departure Warning* sollte man bei diesen Fahrern nicht hoffen.

Vielmehr sollte man – wie auch bei ACC – dafür Sorge tragen, dass *Lane Departure Warning* von ihnen nicht als „Hilfe zum Rasen" missbraucht werden kann. Ab einer bestimmten Geschwindigkeit (z. B. 150 km/h) sollte die Funktionalität nicht mehr zur Verfügung stehen. Sinnvoll wäre es auch, dies aber einer bestimmten Geschwindigkeit auf Landstraßen (z. B. 110 km/h) umzusetzen; dies würde jedoch eine Lokalisierung des Fahrzeugs und eine Anbindung an das Navigationssystem voraussetzen.

Auch Fahrer, die übermüdet am Steuer sitzen, stellen während ihrer gesamten Fahrt ein Verkehrsrisiko dar. Man darf daher nicht nur eine einzelne kritische Situation betrachten, wenn z. B. dem Fahrer die Augen schon halb zugefallen sind und *Lane Departure Warning* ihn noch im letzten Moment vor einem Abkommen warnt. Hier sind v. a. die Möglichkeiten der **Aufmerksamkeitskontrolle** gefragt, die durch eine geschickt aufgebaute, mehrstufige Warnstrategie den Fahrer dazu bewegen kann, seine Fahrt zu unterbrechen und eine Pause oder ein Nickerchen zu machen.

Das Potenzial einer Aufmerksamkeitskontrolle liegt bei 8 % aller Unfälle. So hoch ist zumindest der Anteil der Fahrer, die aufgrund von Müdigkeit einen Fehler begingen, der zur Unfallentstehung beitrug. Inwieweit sie sich allerdings von einem solchen System beeinflussen lassen werden, ist sehr schwer vorauszusagen. Es wird v. a. von der Zuverlässigkeit der Müdigkeitserkennung und der Qualität der Warnstrategie abhängen.

Als positiv für die Einführung eines solchen Systems ist zu bewerten, dass sich viele Fahrer sogar tief in der Nacht häufig gar nicht als müde sondern als durchaus fahrtüchtig wahrnahmen. Es zeigt, dass es offensichtlich einen Bedarf für eine (zuverlässig funktionierende) objektive Diagnose des Müdigkeitszustandes gibt, da viele Fahrer ihre eigene Wachheit selbst falsch einschätzen. Hätten all diese Fahrer vor dem Unfall selbst ohnehin bemerkt, dass sie sehr müde und nicht mehr fahrtüchtig sind, hätte eine gleichlautende Information eines Assistenzsystems für sie ohnehin keinen Neuigkeitswert dargestellt. Ihr Handeln, d. h. das Weiterfahren trotz Müdigkeit, wäre dementsprechend bewusst und absichtlich geschehen, was die Chancen für eine Beeinflussbarkeit des Fahrers durch das System eher sinken lässt.

Ein nicht zu unterschätzender indirekter Nutzen der Aufmerksamkeitskontrolle besteht darin, dass andere Assistenzsysteme bei erkannter Müdigkeit des Fahrers in einen empfindlicheren Modus versetzt werden können. Eine Warnung vor einem Abkommen von der Fahrbahn oder einem Auffahren auf ein vorausfahrendes Fahrzeug könnte dann dem Fahrer entsprechend früher ausgegeben werden, da bei Müdigkeit die Wahrscheinlichkeit von solchen Fehlern steigt und zugleich mit einer verlängerten Reaktionszeit des Fahrers zu rechnen ist. Ebenso könnte die Art des Warnsignals an den Fahrerzustand angepasst werden (z. B. ein stärkerer Warnreiz, der jedoch nicht zu einem Erschrecken führen darf).

Für rund 15 % aller Verkehrsunfälle wurde ein Potenzial für eine **Verkehrszeichenerkennung** festgestellt. Dieses wird jedoch in der Praxis sehr stark dadurch eingeschränkt, dass bei fast der Hälfte dieser Unfälle das Verkehrszeichen nicht aufgrund eines Fehlers, sondern *absichtlich* nicht befolgt wurde. Hierbei ist das sehr häufige Nicht-Befolgen von Geschwindigkeitsbeschränkungen, bei dem man in den meisten Fällen von einer „gefährdenden Routine“ ausgehen kann, noch gar nicht mitgerechnet. Wo jedoch ein Fahrer gar nicht beabsichtigt, sich an ein Verkehrszeichen zu halten, sollte man nicht davon ausgehen, dass er sich von einem solchen Fahrerassistenzsystem dazu erziehen lässt.

Der Grund dafür liegt darin, dass der Fahrer meint, sich in einer bestimmten Situation an ein bestimmtes Zeichen nicht halten zu müssen (z. B. an einem Stoppschild anzuhalten oder eine Tempobeschränkung einzuhalten), weil er den Eindruck hat, die Situation zu überblicken und alles unter Kontrolle zu haben. Die Tatsache, dass er sich schon so oft an eine bestimmte Verkehrsvorschrift nicht gehalten hat und dennoch kein Unfall passiert ist, bestätigt ihn in dieser Auffassung. Daher wird er sich wohl auch durch die Information oder Warnung einer Verkehrszeichenerkennung nicht von seiner Absicht abbringen lassen. Vermutlich wird die größte Herausforderung bei der Realisierung einer Verkehrszeichenerkennung sein, das System so auszulegen, dass der Fahrer sich dadurch nicht belästigt fühlt und es abschaltet. Hierfür sind v. a. zwei Dinge zu beachten:

Erstens sollte der Fahrer nicht mit Informationen überschüttet werden, die er ohnehin schon kennt und die für ihn keinen Neuigkeitswert besitzen. Es macht daher keinen Sinn, ihm auf Strecken, die er ohnehin sehr gut kennt (z. B. in der Nähe seines Wohnorts oder auf dem täglichen Weg zur Arbeit) Verkehrszeichen in einem Display oder Head-up Display anzuzeigen. Auch auf ihm unbekannten Strecken (wenn er z. B. das Navigationsdisplay benutzt) macht es keinen Sinn, ihn auf *jedes* Zeichen visuell oder gar zusätzlich noch akustisch hinzuweisen, da der Fahrer sonst mit Zusatzinformationen überschüttet würde und im Regelfall ohnehin davon auszugehen ist, dass er ein Verkehrszeichen sieht. Besser als den Fahrer vor vielen Zeichen allgemein zu informieren, ist es daher, ihn vor wenigen Zeichen konkret zu warnen. Eine Gefährdung zu erkennen ist jedoch noch deutlich schwerer, als lediglich ein Verkehrszeichen zu erkennen, da für eine Diagnose noch weitere Parameter berücksichtigt werden müssen.

Eine Gefährdung kann beispielsweise dann vermutet werden, wenn der Fahrer ungebremst auf ein Stoppschild zufährt, vor einer starken Kurve mit Warnschild und Geschwindigkeitsbeschränkung seine Geschwindigkeit nicht reduziert oder bei einem Richtungsgebotsschild den Blinker betätigt und damit anzeigt, dass er verbotswidrig abbiegen will. In solchen Fällen wäre es sinnvoll, eine Warnung auszugeben.

Dabei muss jedoch der zweite wichtige Punkt beachtet werden: Die Zahl der falschen Alarme sollte niedrig gehalten werden. Denn häufige irrtümliche Warnungen würden den Fahrer ebenso wie überflüssige Informationen schnell stören und dazu führen, dass er das System abschaltet. Für Stoppschilder setzt dies z. B. eine zuverlässig funktionierende Ampelerkennung voraus, da es

sonst sein könnte, dass der Fahrer nur deshalb ungebremst auf eine Kreuzung mit Stoppschild zufährt, weil er Grün hat (vgl. Kapitel 4.7.15). Für die gleiche Verkehrssituation mit einem Vorfahrt-gewähren-Schild ist zudem fraglich, ob es überhaupt sinnvoll ist, den Fahrer bei einer schnellen Annäherung zu warnen, da dies ein häufig auftretendes Verhalten ist, gegen das auch nichts einzuwenden ist, wenn der Fahrer die Kreuzung gut einsehen kann und kein Verkehr kommt.

Ähnliches gilt für andere Verkehrszeichen: Vor einem Überholverbotsschild sollte nur gewarnt werden, wenn der Fahrer gerade im Begriff ist, ein Fahrzeug zu überholen (links blinken, beschleunigen). Doch selbst dann besteht immer noch eine Wahrscheinlichkeit von 50 %, dass der Fahrer die Warnung ignoriert, da er das Verkehrszeichen nicht übersehen hat, sondern bewusst missachtet.

Die Beispiele zeigen, dass der Bereich für einen sinnvollen Einsatz einer Verkehrszeichenerkennung bei weitem nicht so groß ist, wie es auf den ersten Blick scheint. Die hohen Anteile an Ausnahmeverstößen und Routineverstößen (d. h. überhöhte Geschwindigkeit) schränken das tatsächliche Potenzial zudem weiter ein. Aus diesen Gründen sollte auch der praktische Nutzen einer Verkehrszeichenerkennung für die Unfallprävention nicht überschätzt werden.

5.2 Beurteilung zu erwartender Risikoadaptationen bei Fahrerassistenzsystemen

Bei der Beurteilung des Nutzens von Fahrerassistenzsystemen für eine Unfallprävention muss berücksichtigt werden, dass eventuelle Gewinne an Sicherheit möglicherweise wieder dadurch gemindert werden, dass Fahrer ihr Verhalten an die geänderten Fahrbedingungen anpassen und dadurch Risiken eingehen, die sie zuvor nicht eingegangen sind. Die Wahrscheinlichkeit und das Ausmaß solcher Risikoadaptationen sind jedoch nicht zufällig oder willkürlich, sondern hängen von ganz bestimmten Bedingungen ab (vgl. Kapitel 2.6.4, „Kriterien für die Auftretenswahrscheinlichkeit von Verhaltensadaptationen“!). In Verbindung mit den Ergebnissen dieser Untersuchung sind daher durchaus konkrete Prognosen möglich, bei welchen Assistenzsystemen mehr und bei welchen weniger mit dem Auftreten von Risikoadaptationen zu rechnen ist. Diese Überlegungen müssen mit einbezogen werden, wenn das Potenzial zur Unfallprävention dieser Systeme in der Praxis bewertet werden soll. Dies bedeutet, dass deren maximales Potenzial, das in den Kapiteln 4.7.2 bis 4.7.17 aufgrund der verschiedenen Ursachen und Risikofaktoren bereits eingeschränkt wurde, durch die folgenden Überlegungen zur Risikoadaptation noch einmal weiter eingeschränkt werden muss – für manche Systeme mehr, für manche weniger.

Das Fahrerassistenzsystem, bei dem am wenigsten mit Risikoadaptationen zu rechnen ist, ist die **Automatische Notbremse**. Der Grund dafür ist, dass es ein System ist, das für den Fahrer praktisch nicht wahrnehmbar ist. Für den normalen Fahrbetrieb spielt es überhaupt keine Rolle; lediglich im Notfall greift es ein. Das „normale“ Fahren ändert sich für den Fahrer nicht, weder erweitert es seinen Handlungsspielraum noch schränkt es ihn ein. Es wirkt noch weitaus seltener als bei-

spielsweise das ABS, von dem der Fahrer lediglich bei einer Vollbremsung in einer Notsituation, nicht jedoch im normalen Fahrbetrieb etwas mitbekommt. Damit ist das System mit dem mit Abstand größten Sicherheitspotenzial zugleich auch das mit der geringsten Wahrscheinlichkeit von Risikoadaptationen.

Genau das Gegenteil ist bei den Systemen **Night Vision** und **Adaptives Kurvenlicht** der Fall. Besitzen sie ohnehin nur ein geringes Sicherheitspotenzial (vgl. Punkte 4.7.10 und 4.7.12), so ist hier das Risiko besonders groß, dass der Fahrer sich mit diesen Systemen riskanter verhält. Denn bei *Night Vision* ist die Wirkung des Systems permanent erlebbar. Bei Dunkelheit erweitert es den Sichtbereich des Fahrers, er kann die Straße weiter in der Ferne erkennen und andere Fahrzeuge früher wahrnehmen. Insbesondere eine bessere Erkennbarkeit des Fahrbahnverlaufs führt zu einer Erweiterung seines Handlungsspielraums und vermutlich auch zu einem erhöhten subjektiven Sicherheitsempfinden (Braess & Reichart, 1995; Hürlimann, 1985). All dies wird mit Sicherheit dazu führen, dass Fahrer mit *Night Vision* schneller fahren als ohne *Night Vision*. Wohl kaum jemand wird mit System seine Geschwindigkeit reduzieren. (Ähnliches gilt für das Adaptive Kurvenlicht; hier ist jedoch der Effekt der Sichtfelderweiterung bei weitem nicht so groß.)

Hinzu kommt der von Pfafferott (1991, S. 77) „Überlagerung durch Auslebenstendenzen“ genannte Aspekt: „Je stärker sich Verbesserungen in leistungs- und erlebnisbetonte Fahrstile umsetzen lassen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Nutzung von der ursprünglichen Sicherheitsabsicht entfernt“ (vgl. auch Kapitel 2.6.4.5). Man muss davon ausgehen, dass viele Fahrer *Night Vision* nicht als Sicherheitssystem benutzen, sondern als „Raser-System“, das ihren Spaß am Fahren steigert, indem es ihnen ermöglicht, Geschwindigkeiten zu fahren, die sie (oder „konkurrierende“ Autofahrer) ohne System nicht fahren können.

Genau das, nämlich die zu erwartende höhere Fahrgeschwindigkeit, ist jedoch das Problem: Denn die Ergebnisse belegen klar, dass die untersuchten Unfälle bei Dunkelheit nicht deswegen geschahen, weil die Fahrer aufgrund der Dunkelheit schlecht sahen, sondern weil sie z. B. müde oder alkoholisiert waren, v. a. aber weil sie mit überhöhter Geschwindigkeit fuhren. Aus diesem Grund ist es gut möglich, dass aufgrund dieser Verhaltensadaptation mit *Night Vision* und Adaptivem Kurvenlicht insgesamt sogar noch mehr Unfälle passieren werden als ohne diese Systeme.

Hinzu kommt, dass sich durch ein *Night Vision*-System möglicherweise auch die Gefahrenexposition ändern wird. Fahrer, die bisher Fahrten bei Dunkelheit vermieden haben, könnten mit einem solchen System dazu übergehen, häufiger nachts zu fahren. Selbst wenn sie dabei einen defensiven Fahrstil pflegten, bestünde dabei dennoch ein erhöhtes Risiko, beispielsweise aufgrund von Müdigkeit, einen Unfall zu verursachen.

Auch beim **Spurwechselassistenten** ist mit negativen Verhaltensanpassungen zu rechnen. Es ist davon auszugehen, dass bei den spurwechselnden Fahrern ausgerechnet der häufigste Fehler in Zukunft noch häufiger auftreten wird, nämlich dass sie vor dem Ausscheren nicht in die Spiegel

sehen. Schon ohne Spurwechselassistent unterließ dies die große Mehrheit dieser Fahrer; mit Assistenzsystem steht zu befürchten, dass zahlreiche Fahrer sich diese Blicke in Rück- und Außenspiegel vollständig abgewöhnen.

Gedacht ist der Spurwechselassistent zwar als Sicherheitssystem, das den Fahrer warnt, falls er vor einem Spurwechsel ein von hinten kommendes Fahrzeug trotz Blicken in die Spiegel übersieht. Es ist jedoch davon auszugehen, dass viele Fahrer das System so verstehen werden, dass sie damit nicht mehr selbst in die Spiegel zu sehen brauchen, weil das System nun den hinter dem Fahrzeug liegenden Bereich überwacht. Die Fahrer, die bereits ohne System nicht in die Spiegel sahen, dürften sich vermutlich eine Art „Test-Blinken" angewöhnen: Vor einem beabsichtigten Spurwechsel setzen sie einfach den Blinker und warten ab, was das System antwortet. Kommt eine Warnung, setzen sie den Blinkerhebel zurück und behalten ihre Spur bei – unterbleibt eine Warnung, scheren sie auf die benachbarte Fahrspur aus. Da jedoch kein Assistenzsystem absolut zuverlässig funktionieren kann, besteht die Gefahr eines zu großen Vertrauens (overconfidence) und ein Überschätzen der tatsächlichen Leistungsfähigkeit des Systems, wodurch die Wahrscheinlichkeit solcher Unfälle steigt.

Auch die Erhöhung der subjektiven Sicherheit ist ein Kriterium, das die Wahrscheinlichkeit von Risikoadaptationen beim Spurwechselassistenten erhöht, da sehr viele Fahrer die vom Toten Winkel ausgehende Unfallgefahr für sehr groß halten. Ein Spurwechselassistent würde ihnen in dieser Hinsicht das ersehnte Sicherheitsgefühl geben, was die Häufigkeit von Sicherheit herstellendem Verhalten absenkt. Als besonders problematisch ist dabei abzusehen, dass die Daten zeigen, dass die vom Toten Winkel ausgehende Gefahr ohnehin drastisch überschätzt wird, denn fast alle Unfälle nach Spurwechseln ereigneten sich mit auffahrenden Fahrzeugen, die sich zum Zeitpunkt des Spurwechsels mit großem Abstand hinter dem Vordermann befanden, sich dafür jedoch mit einer hohen Geschwindigkeitsdifferenz näherten. Gerade solche Fahrzeuge sind jedoch auch für ein technisches System viel schwerer zu detektieren als Fahrzeuge im Toten Winkel, so dass mit einer relativ hohen Zahl an ausbleibenden Warnungen („misses") zu rechnen ist.

Das würde bedeuten, dass Fahrer von Fahrzeugen mit einem Spurwechselassistent sich vor einer Gefahr sicher fühlen, die in Wirklichkeit nur ein eher unbedeutendes Risiko darstellt, als Konsequenz darauf mit einer Reduzierung von Sicherheit herstellendem Verhalten (Blicke in die Spiegel, Schulterblick) reagieren und sich dadurch bei Spurwechseln einem erhöhten Risiko von Auffahrunfällen aussetzen, da die Technik gerade solche Fahrzeuge viel schwerer entdecken kann.

Bei der **Verkehrszeichenerkennung** ist weniger mit Risikokompensationen zu rechnen. Dass Fahrer mit einem solchen System weniger Aufmerksamkeit auf Schilder in ihrer Fahrumwelt aufwenden, weil sie darüber auch von ihrem Fahrzeug informiert werden, ist eher nicht zu befürchten. Denn aus praktischen Gründen ist es ohnehin nicht möglich, den Fahrer über alle Schilder zu informieren, sondern nur vor bestimmten „wichtigen" Schildern und dies wiederum auch sinnvollerweise nur dann, wenn eine konkrete Gefährdung wahrscheinlich ist. Der Fahrer kann sich daher

nicht darauf verlassen, dass sein System ihn mit allen wichtigen Informationen hinsichtlich Verkehrsschildern informiert – es bleibt seine Aufgabe, sich diese Informationen selbst aktiv zu besorgen.

Der kritische Punkt bei einer Verkehrszeichenerkennung ist vielmehr die Frage, wie viele Fahrer ausgegebene Informationen oder Warnungen überhaupt ernst nehmen und befolgen. Der hohe Anteil an Verstößen beim Nichtbefolgen von Verkehrszeichen lässt darauf schließen, dass viele Fahrer derartige Warnungen gar nicht beachten *wollen* (vgl. Punkte 4.7.14 und 4.7.15). Möglicherweise empfinden viele Fahrer ein solches System ohnehin nicht als Sicherheitsgewinn; wenn jedoch eine Verkehrszeichenerkennung ihr Sicherheitsgefühl gar nicht erst steigert, fehlt damit die Voraussetzung für eine Kompensation durch andere riskante Verhaltensweisen.

Ähnlich verhält es sich mit der **Aufmerksamkeitskontrolle**. Der Sicherheitsgewinn resultiert nicht aus dem System an sich, sondern erst dadurch, dass der Fahrer die Informationen und Warnungen des Systems ernst nimmt und aktiv sein Verhalten ändert, z. B. dadurch dass er eine Pause oder ein Nickerchen macht. Auch hier liegt der kritische Punkt eher in der Frage, ob der Fahrer überhaupt solche Warnungen ernst nehmen *will*.

Wesentlich anfälliger für Risikoadaptationen sind **Lane Departure Warning** und **Adaptive Cruise Control**. Alle von Pfafferott (1991, S. 77) genannten Kriterien, die das Auftreten von Risikoadaptationen begünstigen, sind hier erfüllt: Beide Systeme sind für den Fahrer in zahlreichen Situationen unmittelbar erlebbar (= *Interaktion mit der Maßnahme*, vgl. Kapitel 2.6.4.1) und geben in kritischen Situationen ein *unmittelbares Feedback*. Beide führen damit zu einer *Erhöhung der subjektiven Sicherheit* und führen dazu, dass der *Handlungsspielraum* des Fahrers *erweitert* wird, d. h. dass dieser mit Unterstützung dieser Systeme höhere Geschwindigkeiten und extremere Fahrsituationen auf sich nehmen kann. Zudem begünstigen beide Systeme das Auftreten von *Auslebenstendenzen* (d. h. überhöhter Geschwindigkeit aus Spaß), insbesondere in Kombination mit einer starken Motorisierung.

ACC ermöglicht es, je nach Auslegung des Systems und der geringsten wählbaren *Time to Collision (TTC)*, mit einem geringen Sicherheitsabstand zu fahren. Es könnte auch dazu führen, dass bestimmte Fahrer (insbesondere auf der Autobahn) häufiger und aggressiver auf der Überholspur fahren und sich auf das automatische Abbremsen durch ACC verlassen. Zudem ist durch den subjektiven Sicherheitsgewinn mit einer höheren Fahrgeschwindigkeit zu rechnen. Untersuchungen im Fahrsimulator weisen in diese Richtung (schnelleres Fahren und vermehrtes Benutzen der Überholspur, vgl. Hoedemaeker, 1999; dichteres Auffahren, vgl. Färber, 2000, S. 20). Dadurch steigt jedoch auch das Risiko anderer Unfalltypen, z. B. durch plötzlich ausscherende vorausfahrende Fahrzeuge. Ein mangelnder Sicherheitsabstand und überhöhte Geschwindigkeit sind jedoch gerade die Hauptursachen von Auffahrunfällen.

Ähnliches ist bei *Lane Departure Warning* zu erwarten. Durch die assistierte Spurhaltung ist damit

zu rechnen, dass Fahrer höhere Geschwindigkeiten wählen, da sie sich durch das Assistenzsystem sicherer fühlen. Damit würde ausgerechnet die für Abkommen-Unfälle häufigste, riskante Verhaltensweise noch häufiger auftreten. Doch auch *Lane Departure Warning* kann ein Abkommen von der Straße (v. a. in einer Kurve) nicht verhindern, wenn das Fahrzeug *zu* schnell ist oder wenn der Fahrer nicht mehr in der Lage ist, rechtzeitig und angemessen zu reagieren.

Mit einer höheren Geschwindigkeit steigt jedoch auch das Risiko anderer Unfallursachen, die nicht durch *Lane Departure Warning* verhindert werden können, z. B. das Auffahren auf andere Fahrzeuge, Wildunfälle, Abkommen aufgrund schlechter Fahrbahnverhältnisse (Nässe, Eis, Laub). Insbesondere in Kombination mit anderen Assistenzsystemen wie z. B. *Night Vision* kann es dazu kommen, dass Fahrer sich deutlich riskanter verhalten.

Als kritisch ist auch der Umstand zu werten, dass zahlreiche Abkommen-Unfälle sich bei alkoholisierten oder müden Fahrern ereigneten. Es ist davon auszugehen, dass Fahrer in diesem Zustand mit Assistenzsystem sich dennoch ans Steuer setzen, obwohl sie dies ohne System nicht machen würden, da *Lane Departure Warning* ihnen beim Lenken hilft. Insbesondere bei den stark alkoholisierten, absolut fahruntüchtigen Fahrern mit mehr als 1.1 Promille – immerhin 10 % aller Fahrer, die einen Abkommen-Unfall hatten – stellt dies eine extrem große Gefährdung dar. Sie sind und bleiben fahruntüchtig, ob mit oder ohne Assistenzsystemen. Es sollten daher unbedingt technische Vorkehrungen getroffen werden, damit ein Missbrauch von *Lane Departure Warning* durch Alkoholisierte verhindert wird (siehe dazu Vorschläge in Kapitel 4.7.7).

Ein besonders Problem von *Lane Departure Warning* und ACC ist, dass der Fahrer möglicherweise mentale Ressourcen, die dadurch frei werden, dass er von der Abstands- und Spurhaltung entlastet wird, für andere Nebentätigkeiten verwenden wird, die nichts mit der Fahraufgabe zu tun haben. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass gerade für Auffahr- und Abkommen-Unfälle visuelle Ablenkung durch Dinge im Fahrzeug (aber auch außerhalb des Fahrzeugs) eine nicht zu unterschätzende Unfallursache ist. Der Grund dafür ist plausibel: Die Fahrer nahmen dann Paralleltätigkeiten auf sich, wenn sie der Ansicht waren, dass dies aufgrund der Verkehrssituation leicht möglich sei. Dies ist beim einfachen Geradeausfahren aufgrund des hohen Automatisierungsgrades, das kaum bewusste Kontrolle erfordert, tatsächlich auch leichter möglich als z. B. beim Überqueren einer übergeordneten Straße oder bei einem Abbiegevorgang. Dennoch unterschätzten die Fahrer die tatsächliche Gefahr.

Mit *Lane Departure Warning* und ACC ist daher anzunehmen, dass Fahrer aufgrund der geringeren Belastung, ihren Blick länger und häufiger von der Straße abwenden und sich weniger auf das Verkehrsgeschehen konzentrieren und stattdessen mehr Aufmerksamkeit auf die Unterhaltungselektronik verwenden, mit Gegenständen im Fahrzeug hantieren und den Blick auf verkehrsirrelevante Dinge in der Fahrumwelt richten. Durch den Trend, immer mehr an Informations- und Unterhaltungsanwendungen in das Fahrzeug einzubauen (DVD-Player, E-Mail, SMS, Internet, Zusatzinformationen über das Navigationssystem u. a.) wird in Zukunft die Anzahl der Quellen für Ablen-

kung überdies deutlich zunehmen. Es ist daher damit zu rechnen, dass ablenkende Paralleltätigkeiten in Zukunft häufiger auftreten werden und die Fahrer darauf vertrauen, dass ihre Fahrerassistenzsysteme sie bei Gefahr rechtzeitig warnen.

5.3 Beurteilung weiterer zu erwartender „Nebenwirkungen“ von Fahrerassistenzsystemen

Bei der Diskussion von Chancen und Risiken von Fahrerassistenzsystemen wird in der Regel davon ausgegangen, dass diese Systeme perfekt funktionieren, wenn sie zum Einsatz kommen. Diese Annahme ist jedoch unrealistisch. Vielmehr werden Warnungen ausgegeben werden, obwohl keine Gefährdung besteht (z. B. weil der Fahrer dennoch alles unter Kontrolle hat = *false alarms*) und es werden Warnungen ausbleiben, obwohl sie eigentlich kommen müssten (= *missings*). Dadurch ergeben sich weitere Probleme:

Beispielsweise bei *Lane Departure Warning* wird auf vielen Streckenabschnitten die Funktionalität zeitweise nicht zur Verfügung stehen. Erkennt die Sensorik des Systems nicht den Verlauf der Fahrbahn (z. B. aufgrund fehlender oder verwitterter Fahrbahnrandmarkierungen, starker Licht-Schatten-Kontraste, Lichtreflexe auf nasser Fahrbahn), kann sie auch keine Warnung ausgeben, wenn das Fahrzeug abzukommen droht. Obwohl für den Fahrer der Verlauf der Fahrbahn gut erkennbar ist und er daher davon ausgeht, dass die Funktionalität des Systems verfügbar ist, kann dieses ihm keine Unterstützung bieten (vgl. Kapitel 4.7.7). Daraus ergibt sich das Problem der Overreliance, des zu großen Vertrauens: Der Fahrer vertraut auf die Hilfe durch ein System und nimmt z. B. eine parallele Nebentätigkeit auf sich, die Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe abzieht, und wird dann davon überrascht, wenn eine Warnung vor dem Spurverlassen ausbleibt, weil die Sensorik den Fahrbahnverlauf nicht erkennen kann.

Dies gilt ebenso für andere Assistenzsysteme. ACC kann vielleicht vorausfahrende Autos gut erkennen, macht aber möglicherweise Fehler beim Erkennen von Motorrad- oder Fahrradfahrern oder hat Probleme, wenn ein seitlich vorausfahrendes Auto plötzlich auf die eigene Spur wechselt. Die Liste möglicher technischer Probleme ließe sich beliebig fortsetzen, doch darum geht es nicht. Der entscheidende Punkt ist vielmehr: Auch bei einem sehr guten technischen System wird es immer Situationen geben, in denen keine Assistenz geleistet werden kann. Die Herausforderung bei der Gestaltung dieser Systeme ist nun, es dem Fahrer zu ermöglichen, einfach und mit möglichst geringem kognitivem Aufwand zu erkennen, in welchem Zustand sich das System befindet, ob gerade die Funktionalität verfügbar ist oder nicht. Ansonsten besteht die Gefahr von Modusfehlern (Sellen et al., 1992; Norman, 1990), wenn der Fahrer mit einer Assistierung rechnet, sie aber nicht bekommt.

Des Weiteren müssen die Übergänge zwischen dem assistierten und dem nicht assistierten Zustand so gestaltet werden, dass der Fahrer damit gut zurecht kommt. Wenn beispielsweise *Lane*

Departure Warning nach einer Phase der Assistenz aufgrund einer schlechteren Erkennbarkeit des Fahrbahnverlaufs (z. B. vor einer unübersichtlichen Kurve) keine Unterstützung mehr leisten kann, muss der Fahrer darüber rechtzeitig informiert werden. Sonst besteht die Gefahr, dass beim Übergang vom assistierten in den nicht assistierten Zustand durch den plötzlichen Wegfall der Assistenz vermehrt Unfälle geschehen (= Übernahmeproblematik).

Leider ist mit einem Wegfall der Assistenz aufgrund von Problemen der Sensorik bei der Situationserkennung insbesondere dann zu rechnen, wenn auch der Fahrer Schwierigkeiten bei der Wahrnehmung oder Informationsverarbeitung hat, d. h. genau in den Situationen, wenn er eine Unterstützung eigentlich am meisten bräuchte, z. B. auf einer schmalen, schlecht ausgebauten Straße ohne Fahrbahnmarkierungen (*Lane Departure Warning*), Sonnenblendung bei Ampeln (Verkehrszeichenerkennung), mit sehr hoher Geschwindigkeit von hinten nahenden Fahrzeugen auf der Autobahn bei einem Spurwechsel (Spurwechselassistent) oder generell in sehr komplexen Verkehrssituationen an Knotenpunkten mit vielen Fahrspuren, vielen Verkehrszeichen und vielen Verkehrsteilnehmern.

Am besten hingegen werden Fahrerassistenzsysteme in einfachen, gut überschaubaren Situationen mit einer stark standardisierten Fahrumwelt (z. B. Autobahn) funktionieren, also genau dann, wenn der Fahrer auf Unterstützung am wenigsten angewiesen ist, da ihm das Fahren in diesen Situationen ohnehin keine Mühe bereitet. Hier besteht nicht die Gefahr der *Über*forderung des Fahrers, sondern eher der *Unter*forderung. Entlasten Lane Departure und ACC den Fahrer in einer leicht zu bewältigenden, monotonen Fahrsituation wie einer Autobahnfahrt mit wenig Verkehr noch zusätzlich von der einfachen Regulierungstätigkeit auf der Stabilisierungsebene, ist damit zu rechnen, dass damit der Aktivierungsgrad des Fahrers noch weiter abnimmt. Dadurch steigt das Risiko, dass der Fahrer nicht mehr genügend Aufmerksamkeit auf den Verkehr wendet oder gar einschläft.

Ändert sich dann plötzlich die Fahrsituation, beispielsweise durch eine Baustelle mit verengten Fahrspuren, muss der Fahrer den Übergang vom Zustand der völligen kognitiven Unterforderung hin zur hohen kognitiven Beanspruchung bewältigen. Fällt ausgerechnet in dieser kritischen Situation auch noch *Lane Departure Warning* aus, weil das System nicht mit den mehrfach vorhandenen (weißen und gelben) Fahrbahnmarkierungen zurecht kommt, ist dieser Übergang umso kritischer. In dieser Situation wäre es beispielsweise sinnvoll, wenn eine Verkehrszeichenerkennung die Vorankündigung der Baustelle erkennen und rechtzeitig vorher den Fahrer informieren könnte, dass in Kürze die Spurhalteassistenz wegfällt.

Für eine sichere Interaktion zwischen Fahrer und Assistenzsystem ist es auch wichtig, dass der Fahrer ein angemessenes mentales Modell von der Funktionsweise des Systems entwickeln kann. Voraussetzung dafür ist, dass das System dem Fahrer die Chance gibt, seine Fähigkeiten und Grenzen zu erkennen, indem sich das System in gleichen Situationen gleich verhält. Beispielsweise stellt ein Funktionsausfall von *Lane Departure Warning* für den Fahrer kein Problem dar, wenn er für sich die Regel aufstellen kann: „An Baustellen funktioniert die Spurassistenz grundsätzlich

nicht.“ Verhält sich das System an Baustellen voraussagbar immer so, wird er dieses Prinzip schnell gelernt haben – auch ohne vorher die Betriebsanleitung studiert zu haben. Funktioniert es jedoch an Baustellen meistens nicht, manchmal jedoch schon, ist das System für ihn intransparent oder gar willkürlich.

Er wird als Konsequenz Hypothesen über das Funktionsprinzip des Systems entwickeln, die möglicherweise unzulänglich oder völlig falsch sind und so eine fehlerhafte mentale Repräsentation des Assistenzsystems erwerben, die die Benutzung des Systems unangenehm oder gar riskant macht. Ein erwartungskonformes, durchschaubares Systemverhalten ermöglicht es letztlich auch dem Fahrer viel leichter, mit Unzulänglichkeiten und Schwächen des Assistenzsystems souverän umzugehen. In diesem Sinne wäre es auch sinnvoll, bei der Auslegung von Fahrerassistenzsystemen lieber die Funktionsvielfalt bewusst einzuschränken, wenn dadurch eine größere Systemtransparenz erreicht wird, und lieber in weniger Fahrsituationen eine Assistenz zur Verfügung zu stellen, diese dafür jedoch mit einer möglichst hohen Zuverlässigkeit zu bewältigen.

5.4 Zusammenfassende Bewertung der Bedeutung von Unfallursachen und Risikofaktoren auf Basis der Regressionsanalyse

5.4.1 Nicht angepasste Geschwindigkeit als Haupteinflussfaktor von Verkehrsunfällen

Die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse (vgl. Kapitel 4.6.7) zeigen, dass der mit Abstand bedeutendste Risikofaktor für die Verursachung eines Verkehrsunfalls „nicht angepasste Geschwindigkeit“ ist (standardisierter Beta-Koeffizient: .25). Das bedeutet, dass sich der größte Sicherheitsgewinn für den Straßenverkehr dadurch erzielen lässt, wenn Interventionsmaßnahmen priorisiert werden, die auf eine Reduzierung überhöhten Geschwindigkeiten abzielen.

Für die Automobilindustrie bedeutet dies – falls sie es mit ihrer Vision eines unfallvermeidenden Fahrzeugs tatsächlich ernst meint – dass sie Fahrzeuge z. B. durch Informations- und Assistenzsysteme so gestalten muss, dass sie den Fahrer zu geringeren Fahrgeschwindigkeiten bzw. zum Einhalten der zulässigen Höchstgeschwindigkeit anleiten. Zu denken wäre hier an eine Art „Geschwindigkeitsassistent“, der in jeder Situation den Fahrer über die aktuell geltende zulässige Höchstgeschwindigkeit informiert und bei Überschreiten warnt. Bei widrigen Straßenverhältnissen (z. B. Nässe, Glatteis) sollte das System dem Fahrer eine entsprechend niedrigere, der Situation angepasste Geschwindigkeit vorschlagen.

Zu erreichen wäre dies über eine Kombination verschiedener Systeme, wie Verkehrszeichenerkennung (Erkennung von Schildern, die eine Geschwindigkeitsbeschränkung bedeuten, d. h. Höchstgeschwindigkeiten oder auch Ortsschilder), Telematiksteuerung (Information über geltende Geschwindigkeitsbeschränkung durch Anbindung an das Navigationssystem) sowie eine entsprechende Sensorik zur Erkennung widriger Umweltbedingungen (z. B. „intelligente Reifen“ zur Diag-

nose der Fahrbahnverhältnisse). Während solche Systeme jedoch noch auf sich warten lassen, gibt es in der Automobilindustrie einen seit Jahren anhaltenden Trend in die entgegengesetzte Richtung, nämlich hin zu immer stärker motorisierten Autos mit sportlicher Fahrauslegung, die den Fahrer nicht zum langsamen, defensiven Fahren sondern zum schnellen, aggressiven Fahren animieren (Pfafferott & Huguenin, 1991, S. 74; zum Unfallrisiko in Abhängigkeit von Fahrzeugmerkmalen wie Höchstgeschwindigkeit, Motorleistung oder Leistungsgewicht vgl. Bock & Brühning, 1989, S. 83 ff).

Doch auch der Gesetzgeber, die Polizei und die Behörden halten zahlreiche Instrumente in der Hand, mit denen eine Reduzierung von Geschwindigkeitsüberschreitungen erreicht werden kann. Sie reichen von einer Herabsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten, über die Einführung eines generellen Tempolimits auf Autobahnen (in der Bundesrepublik Deutschland), über eine härtere Sanktionierung von Geschwindigkeitsdelikten bis hin zu straßenbaulichen Maßnahmen. In Kapitel 5.5 werden diese Möglichkeiten näher erläutert.

5.4.2 Sonstige Einflussfaktoren im Regressionsmodell

Nach „nicht angepasster Geschwindigkeit" (β=.25) als Hauptursache für Verkehrsunfälle folgen mit deutlichem Abstand die Faktoren „Ausnahmeverstoß" (β=.15), „mangelnde Ortskenntnis" (β=.15) und „Sonnenblendung" (β=.13).

Strategien zur Reduzierung von Ausnahmeverstößen (also alle absichtlichen Verletzungen der StVO außer überhöhter Geschwindigkeit und mangelndem Sicherheitsabstand, vgl. Kapitel 4.5.2, „Arten von Verstößen") können von der Automobilindustrie nicht erwartet werden – hier sind allein Gesetzgeber, Polizei und Behörden gefragt. Auf mögliche Maßnahmen wird in Kapitel 5.5 eingegangen.

„Mangelnde Ortskenntnis" und „Sonnenblendung" sind zwei Faktoren, deren Bedeutung für das Unfallrisiko bisher weit unterschätzt wurde. Die Daten belegen jedoch ganz klar, dass bei mangelnder Vertrautheit mit der gefahrenen Strecke das Risiko einer Unfallverursachung drastisch erhöht ist (vgl. Kapitel 4.6.3.4). Dies bedeutet, dass Navigationssysteme im Fahrzeug nicht nur eine Erhöhung des Fahrkomforts mit sich bringen, sondern durch die Entlastung des Fahrers von der Navigationsaufgabe auch tatsächlich eine Erhöhung der Verkehrssicherheit bewirken. Durch eine weitere Verbesserung dieser Systeme ließe sich aber auch hier eventuell noch mehr bewirken:

So könnten beispielsweise optische Navigationshinweise (z. B. Pfeil für Abbiegen) nicht auf einem kleinen Display an der Mittelkonsole, sondern stattdessen kontaktanalog in einem Head-up Display in der Windschutzscheibe dargestellt werden, so dass z. B. ein Abbiegepfeil direkt auf die Einmündung weist, in die der Fahrer einbiegen muss. Zudem könnte das Navigationssystem mit Zusatzin-

formationen angereichert werden, die eine Instruierung des Fahrers ermöglichen, die besser an dessen Wahrnehmung, kognitiven Fähigkeiten zur Orientierung angepasst sind (z. B. anstatt „In hundertfünfzig Metern rechts abbiegen!“ besser „An der nächsten Kreuzung vor der Kirche rechts abbiegen!“).

Der Risikofaktor „Sonnenblendung“ wurde bisher ebenfalls in seiner Bedeutung stark unterschätzt. Dies zeigt der Vergleich mit den Zahlen der offiziellen Unfallstatistik, die den Anspruch erhebt, diese Unfallursache ebenfalls zu erfassen (vgl. Bundesamt für Statistik, 2002, S. 271 sowie Kapitel 4.6.2.2). Für die Entwickler von Assistenzsystemen sollte dies ein Ansporn sein, intelligente technische Lösungen für dieses Problem zu entwickeln (z. B. ein System, das die Kopfposition des Fahrers sowie den Stand der Sonne erkennt und bei Gefahr von Sonnenblendung die Windschutzscheibe an einer lokal begrenzten Stelle abdunkelt). Eine intelligente Lösung würde nicht nur die Sicherheit, sondern auch den Fahrkomfort erhöhen und dürfte auf eine hohe Akzeptanz bei den Fahrern stoßen.

Eine Maßnahme auf verkehrsplanerischer Seite gegen Sonnenblendungen sind Ampeln mit Leuchtdioden anstatt herkömmlicher Glühlampen, die eine höhere Leuchtdichte besitzen und daher auch bei starkem Gegenlicht oder Lichtreflexen durch tiefstehende Sonne besser wahrnehmbar sind (vgl. Kapitel 5.5.2.3, „Maßnahmen zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von Verkehrszeichen“).

Die restlichen drei wichtigen Risikofaktoren, die in das Regressionsmodell aufgenommen wurden, sind „Konzentration auf das Fahren“, „Müdigkeit“ und „Negative Emotion“. Während die Bedeutung der beiden erstgenannten Faktoren nicht überraschend ist und keinerlei Erläuterung bedarf, überrascht die Bedeutung von Emotion für das Unfallrisiko doch etwas. Die Daten sind jedoch eindeutig. Fahrer in einer negativen emotionalen Verfassung besaßen ein genau doppelt so hohes Risiko, einen Unfall zu verursachen, wie Fahrer in einer positiven oder neutralen Verfassung. Hier ist unbedingt weiterer Forschungsaufwand notwendig.

Bei der Frage nach Präventionsmaßnahmen sieht es bei diesen drei Risikofaktoren weniger gut aus. Während sich für „Müdigkeit“ alle Hoffnungen auf das Assistenzsystem der Müdigkeitserkennung konzentrieren, dürfte es wohl sehr schwierig sein, den Fahrer dazu zu bringen, sich während des Fahrens mehr auf die Fahraufgabe zu konzentrieren und nicht mit den Gedanken abzuschweifen. Auch der Gedanke an ein Assistenzsystem, das die Emotion des Fahrers erkennt, und darauf in irgendeiner Weise angemessen reagiert, wird wohl noch auf lange Zeit eine Wunschvorstellung bleiben – derzeit gibt es schließlich noch nicht einmal Systeme, die natürlich gesprochene Sprache zuverlässig erkennen können.

5.5 Maßnahmen zur Unfallprävention

An Maßnahmen zur Unfallprävention herrscht kein Mangel. Sie reichen von der Verkehrserziehung

im Kindergarten bis hin zur baulichen Umgestaltung von Unfallbrennpunkten. Nicht alle Maßnahmen sind jedoch gleich erfolgreich – manche führen zu einer deutlichen Reduktion von Unfällen, andere hingegen bewirken gar nichts. In vielen Fällen ist jedoch eine genaue Aussage über den Effekt gar nicht möglich, weil die Auswirkungen einer Maßnahme nicht evaluiert werden – häufig auch dann nicht, wenn die Umsetzung eines Sicherheitskonzepts mit erheblichem finanziellen Aufwand verbunden war. Nicht selten werden sogar anstelle einer seriösen Untersuchung der Auswirkungen Erfolgskriterien erst im Nachhinein festgesetzt (vgl. auch Schneider, 1995) oder bei einem offenkundigen Ausbleiben eines Erfolgs vorschnell mit einem Auftreten von angeblichen Risikoadaptationen argumentiert (Pfafferott, 1989).

Dieses Grundproblem der fehlenden Erfolgskontrolle in der Verkehrssicherheitsarbeit, kann auch mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie nicht behoben werden. Sie sind jedoch eine hervorragende Grundlage, um beurteilen zu können, an welcher Stelle sich zusätzliche Anstrengungen zur Unfallprävention lohnen und an welcher nicht. Die Häufigkeit der ermittelten Unfallursachen und das Relative Risiko bestimmter Einflussfaktoren ermöglichen hierbei eine weitaus bessere Abschätzung als die nur sehr groben und allgemeinen Zahlen der amtlichen Unfallstatistik (Nicodemus, 1995).

Im Folgenden sollen nur die wichtigen Sicherheitsrisiken angesprochen werden, die aufgrund der Datenlage auf ein besonders großes Potenzial für die Unfallprävention schließen lassen; die Aufzählung ist also bei weitem nicht vollständig. Zusätzlich soll auch auf kleinere Risiken und deren Beseitigungsmöglichkeiten hingewiesen werden, sofern es sich um Risiken handelt, denen bisher in der Diskussion um Verkehrssicherheitsarbeit zu wenig Aufmerksamkeit zuteil wurde, da man ihr Risiko aufgrund fehlender wissenschaftlicher Daten bisher nicht kannte oder unterschätzte.

Ein großes Potenzial zur Unfallprävention liegt selbstverständlich in technischen Maßnahmen zur Erhöhung der aktiven Fahrzeugsicherheit, allen voran in der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen. Auf diesen Themenbereich wurde in der vorliegenden Arbeit bereits sehr ausführlich eingegangen. Aus diesem Grund sollen in den folgenden Kapiteln die wichtigsten Maßnahmen diskutiert werden, mit denen durch Gesetzgebung, Überwachung der Einhaltung von Normen und straßenbaulichen Maßnahmen die Zahl der Verkehrsunfälle gesenkt werden kann.

5.5.1 Maßnahmen von Gesetzgeber, Polizei und Behörden

5.5.1.1 Maßnahmen gegen überhöhte Geschwindigkeit

Die Daten der vorliegenden Studie zeigen ganz klar, dass überhöhte Geschwindigkeit die wichtigste Unfallursache darstellt. Zu schnelles Fahren erhöhte im Vergleich zum Fahren mit angepasster Geschwindigkeit die Wahrscheinlichkeit einer Unfallverursachung um 85 %. Zugleich ist es auch die häufigste sicherheitsrelevante Fehlverhaltensweise. Zu bedenken ist zudem, dass mit einer

höheren Geschwindigkeit nicht nur das Risiko einer Unfallverursachung steigt, sondern aufgrund der höheren kinetischen Energie ebenso das Verletzungs- und Sterberisiko im Falle eines Unfalls. Der mit Abstand größte Effekt für die Unfallprävention lässt sich also dadurch erzielen, indem man Fahrer dazu bringt, mit geringeren Fahrgeschwindigkeiten zu fahren und Geschwindigkeitsbeschränkungen einzuhalten.

Der einfachste Weg, geringere Fahrgeschwindigkeit en zu erreichen, ist die Herabsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeiten. Als erste Maßnahme ist hier für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland die Einführung eines generellen Tempolimits auf Autobahnen zu fordern. Dieses Thema wird seit vielen Jahren äußerst emotional und kontrovers diskutiert und jeder Autofahrer hat dazu seine persönliche Meinung. Der Umstand, dass Deutschland das einzige Land in Europa und (fast) einzige Land der Welt ist, in dem die Höchstgeschwindigkeit auf Autobahnen nicht anhand von Sicherheitskriterien vom Staat festgesetzt ist, sondern allein von der Motorleistung des Fahrzeugs und der Risikofreudigkeit des Fahrers abhängt, liegt nicht daran, dass es triftige, rationale Gründe gegen eine solche Sicherheitsmaßnahme gäbe (sonst hätte sich der Rest der Welt wohl kaum *für* generelle Tempolimits entschieden).

Der Grund liegt vielmehr darin, dass es in der Bundesrepublik einerseits eine einflussreiche Automobillobby gibt, die ein Interesse an der Verhinderung eines solchen Tempolimits hat, um mehr hochmotorisierte Fahrzeuge zu verkaufen. Andererseits fehlt es am politischen Willen und Mut, eine unpopuläre Entscheidung gegen eine Großzahl von leichtsinnigen, spaßorientierten Autofahrern und Wählern durchzusetzen, denen die freie Entfaltung ihrer Persönlichkeit auf der Autobahn wichtiger ist als die allgemeine Verkehrssicherheit und die mit dem ebenfalls einflussreichen ADAC ein wirkungsvolles Sprachrohr besitzt (ADAC, 1998). An der Einführung eines generellen Tempolimits auf Autobahnen in der Bundesrepublik führt jedoch vom Standpunkt der Verkehrssicherheit gesehen kein Weg vorbei.

Interessanter als die Frage, *ob* ein Tempolimit nötig ist, ist hingegen die Frage nach der Höhe eines solchen Limits: Diskutiert wird in der Regel stets die Zahl „130 km/h". Hier sollte jedoch bedacht werden, dass in der großen Mehrzahl der europäischen Länder auf Autobahnen ein Tempolimit von nur 120 km/h oder weniger gilt (Europäische Kommission, 2001), insbesondere in den Ländern, in denen der Straßenverkehr (gemessen an den Verkehrstoten je 100 000 Einwohner) besonders sicher ist (OECD, 2000, zit. nach Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2002, S. 38; vgl. auch v. a. die Vorschläge zur Reduktion geschwindigkeitsbedingter schwerer Unfälle, S. 108 f!).

So sind beispielsweise in den drei sichersten Ländern die Tempolimits auf Autobahnen besonders niedrig: Großbritannien (112 km/h), Schweden (110 km/h) Norwegen (90 km/h) (Net-Lexikon, 2004). Für die Schweiz (diesbezüglich immerhin das fünftsicherste Land in Europa) empfiehlt die „Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung" in ihrem (sehr lesenswerten) Abschlussbericht der Regierung die Senkung von 120 km/h auf 110 km/h. Grundlage hierfür sind zahlreiche

Untersuchungen (zusammengefasst in Europäische Kommission, 1998), die zum Schluss kommen, dass jede Reduzierung der durchschnittlichen Geschwindigkeit um 1 km/h eine Senkung der Unfälle mit Verletzungsfolge von 2 % zur Folge hat. Auch wenn es bereits ein Fortschritt wäre, wenn es in der Bundesrepublik überhaupt ein generelles Tempolimit auf Autobahnen gäbe, wäre es vom Standpunkt der Verkehrssicherheit wünschenswert, wenn es bei höchstens 120 km/h läge.

Ähnliches gilt für Landstraßen. In Deutschland gilt dort ein generelles Tempolimit vom 100 km/h, und zwar unabhängig von Fahrbahnbreite, Kurvenverlauf und Qualität der Fahrbahn. Während dies auf gut ausgebauten Straßen (z. B. Bundesstraßen) angemessen sein mag, ist jedoch häufig auf schlecht ausgebauten Landstraßen (z. B. viele Ortsverbindungsstraßen in ländlichen Gegenden) viel zu hoch, ohne dass dort die Höchstgeschwindigkeit durch Verkehrsschilder reduziert wäre. Die meisten anderen europäischen Länder unterscheiden zwischen solchen Straßen (Freiland / Autostraße, vgl. Net-Lexikon, 2004) und schreiben für einfache Landstraßen eine niedrigere Höchstgeschwindigkeit (90 bis 70 km/h) vor. Auch hier sind die sehr verkehrssicheren skandinavischen Länder sowie die Schweiz oder die Niederlande mit nur 70 bis 80 km/h auf Landstraßen (Freiland) vorbildlich. Insbesondere in Hinblick auf den hohen Anteil von Getöteten durch Unfälle auf Landstraßen (Bundesamt für Statistik, 2002, S. 53) wäre in Deutschland ein ähnliches generelles Tempolimit auf Landstraßen (gut ausgebaute Bundesstraßen könnten davon ausgenommen werden) sinnvoll.

Noch wichtiger als eine Senkung der generellen Tempolimits ist es jedoch, dafür zu sorgen, dass Tempobeschränkungen auch eingehalten werden. Hier sind als wichtigste Maßnahme – wichtiger als härtere Sanktionen – in erster Linie verstärkte Verkehrskontrollen zu nennen.

Zahlreiche Fahrer fahren schneller als erlaubt; nach Dietrich et al. (1998) sind dies im Innerortsbereich 5 % bis 25 %, auf Autobahnen (mit Tempolimit) rund 30 % (nachts teilweise bis zu 60 %) aller Fahrer (vgl. auch Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2002), S. 54). Bei den vorliegenden Daten fuhren rund über 40 % aller Fahrer mit nicht angepasster Geschwindigkeit. Diese Zahlen verwundern nicht, wenn man bedenkt, dass Schätzungen zufolge „die Entdeckungswahrscheinlichkeit pro Minute Geschwindigkeitsüberschreitung je Fahrer bei ca. 1:30 000 liegt“ (Hilse, 1995, S. 313).

Abhilfe können hier nur konsequente, flächendeckende mobile und stationäre Geschwindigkeitskontrollen durch Polizei und Kommunen schaffen. Die Effektivität dieser Maßnahmen auf eine Senkung der Geschwindigkeit sowie auf den Rückgang der Unfallzahlen ist seit langem vielfach belegt (Hauer & Cooper, 1977; Meewes, 1993, Hilse, 1995; Koornstra, 1993).

5.5.1.2 Maßnahmen gegen zu geringen Sicherheitsabstand

Als eine weitere Hauptunfallursache erwies sich bei den untersuchten Unfällen ein zu geringer

Sicherheitsabstand (Relatives Risiko bei Auffahrunfällen: 1.39). Auch dieses Problem ist seit langem bekannt. Insbesondere bei dichtem Verkehr (im Stadtverkehr oder auf der Autobahn) sind die eingehaltenen Sicherheitsabstände häufig viel zu gering. Zwar werden große Hoffnungen auf Abstandsassistenzsysteme im Fahrzeug gesetzt, doch ob sich Fahrer von diesen zu einem sicherheitsbewussteren Verhalten erziehen lassen, bleibt abzuwarten. Bisherige Untersuchungen liefern widersprüchliche Hinweise (zur Übersicht vgl. Färber, 2000, S. 20).

Daher ist es wichtig, sich nicht auf eine Lösung dieses Problems durch Technik im Fahrzeug zu verlassen (zumal es viele Jahre dauern wird, bis solche Systeme in allen Fahrzeugen vorhanden sein werden), sondern durch verstärkte Verkehrskontrollen dieses riskante Verhalten für Fahrzeugführer unattraktiver zu machen. Insbesondere auf Autobahnen, wo das Gefährdungspotenzial aufgrund der hohen Fahrgeschwindigkeiten größer ist, sollten vermehrt Kameras zur automatischen Überwachung des Sicherheitsabstands eingesetzt werden.

5.5.1.3 Maßnahmen gegen Alkoholisierung am Steuer

Alkohol am Steuer ist als Hauptursache von Verkehrsunfällen bekannt. Bei den hier untersuchten Unfällen fiel insbesondere die Stärke der Alkoholisierung auf: Jeder zweite Alkoholisierte hatte mehr als 1.1 Promille im Blut – ein Wert, bei dem sich eigentlich jede Frage nach weiteren Unfallursachen erübrigt; dies war bei 4.5 % aller Unfälle der Fall. Bedauerlicherweise ist selbst bei einer Alkoholisierung dieses Ausmaßes die Wahrscheinlichkeit für einen Fahrer, auf solch einer Trunkenheitsfahrt erwischt zu werden, äußerst gering: Schätzungen gehen von einer Dunkelziffer nicht entdeckter Alkoholfahrten von 1:300 ab 1.1 Promille und sogar lediglich 1:900 ab 0.5 Promille aus (Hilse, 1993, S. 77 f).

Hier ist eine Erhöhung der Kontrolldichte dringend erforderlich, auch wenn dies (im Gegensatz zur automatischen Überwachung von Geschwindigkeit und Sicherheitsabstand) aufgrund des hohen Personalaufwands kostspielig ist. Insbesondere für hohe Alkoholisierungen sollten die Sanktionen (vorzugsweise Fahrverbote) verschärft werden. Ein hartes Vorgehen gegenüber Alkoholikern (bei einer Trunkenheitsfahrt mit 1.1 Promille ist mit Alkoholismus beim Fahrer zu rechnen), die stark alkoholisiert am Steuer erwischt wurden, ist völlig berechtigt (Lewrenz, 1993, S. 227).

Auch wenn bei den untersuchten Unfällen sehr hohe Alkoholisierungen auffielen, sollte daraus keinesfalls geschlossen werden, dass geringere Alkoholisierungen kein Problem darstellten. Da auch geringere Alkoholkonzentrationen die Fahrleistung negativ beeinflussen (Krüger, 1995), sollte eine Senkung der Promillegrenze auf 0.2 Promille in Erwägung gezogen werden. Dies gilt insbesondere für Fahranfänger (in der Regel zugleich die Risikogruppe der jungen Erwachsenen), für die eine Grenze von 0.0 Promille sinnvoll wäre.

Weitaus wichtiger als niedrigere Grenzwerte oder härtere Sanktionen sind jedoch verstärkte Alko-

holkontrollen, da keine noch so sinnvolle Gesetzesvorschrift einen Sinn hat, wenn deren Einhaltung kaum kontrolliert wird und deren Übertretung mit hoher Wahrscheinlichkeit keine Konsequenzen für die Betroffenen nach sich zieht.

5.5.1.4 Maßnahmen bei Verkehrsverstößen

Die untersuchten Unfälle belegen eindeutig die große Gefahr, die von der absichtlichen Missachtung von Verkehrsregeln ausgeht. Fahrer, die einen Verstoß begingen, besaßen ein um über 60 % erhöhtes Risiko, einen Unfall zu verursachen. Diese Verstöße beinhalten hauptsächlich die bereits erwähnten Geschwindigkeits-, Abstands- und Alkohol-Verstöße, jedoch auch verschiedene andere Regelverletzungen, wie z. B. die bewusste Missachtung von Verkehrsschildern.

Versicherungsanreize

Eine wirkungsvolle Methode zur Reduzierung von Verkehrsverstößen wäre, sicherheitsrelevante Verkehrsregelverletzungen an die Versicherungen der Fahrer zu melden. Dies könnte sich dann in einer Erhöhung der Versicherungsprämien für die betreffenden Fahrer auswirken (Baum & Kling, 1997). Die Betonung liegt dabei auf „sicherheitsrelevant“; ungefährliche Ordnungswidrigkeiten wie z. B. Falschparken wären davon nicht betroffen. Je nach Gefährlichkeit des Verstoßes könnte sich dies dann in einer entsprechenden Erhöhung des Versicherungsbeitrags für die Haftpflichtversicherung auswirken. Umgekehrt könnten Versicherte, die sich regelkonform verhalten, von einer günstigeren Versicherungsprämie profitieren.

Dieses System hätte zum einen den Vorteil, dass es gerechter ist, weil es die durch Verkehrsunfälle entstehenden Kosten gerechter auf diejenigen verteilt, die durch ihr Fehlverhalten mutwillig ein größeres Unfallrisiko in Kauf nehmen. Vor allem aber bietet es finanzielle Anreize für ein regelkonformes und damit sicherheitsorientiertes Verhalten im Straßenverkehr. Wichtig ist dabei aus lernpsychologischer Sicht, dass der Fahrer die Konsequenzen seines Verhaltens möglichst schnell und nicht erst nach Wochen oder gar Monaten zu spüren bekommt, d. h. möglichst unmittelbar, nachdem er einen Verstoß begangen hat, damit für ihn der Zusammenhang zwischen Fehlverhalten und finanzieller Strafe spürbar ist. Zudem sollten regelkonforme Fahrer auch tatsächlich durch eine Senkung ihrer Versicherungsprämie finanziell belohnt werden, um den Anreiz für umsichtiges, verantwortungsvolles Fahren zu erhöhen.

Dieses Modell, das auch von der „Schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung“ empfohlen wird (Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2002, S. 93), setzt den Grundgedanken jeder Kfz-Haftpflichtversicherung fort, die für unfallfreie Fahrer günstigere Prämien vorsieht als für Fahrer, die bereits einen oder mehrere Unfälle verschuldet haben. Da jedoch die Wahrscheinlichkeit, einen Unfall zu verursachen, insgesamt für einen einzel-

nen Fahrer sehr klein ist, wirkt sich dieser Anreiz nicht auf sein Verhalten aus. Die Wahrscheinlichkeit, bei einem Verkehrsregelverstoß erwischt zu werden, ist hingegen weitaus größer (wenn auch immer noch viel zu klein, siehe oben!), so dass ein finanzielles Anreizsystem, das auf entdeckten sicherheitsrelevanten Regelverstößen basiert, leichter zu einer Verhaltensbeeinflussung führen kann.

Fahrdatenspeicher (Unfalldatenschreiber)

Eine weitere, sehr sinnvolle Maßnahme wäre der vom Gesetzgeber obligatorisch zu machende Einbau von Fahrdatenspeichern (Unfalldatenschreiber) in alle Neufahrzeuge. Ein Fahrdatenspeicher registriert Fahrzeugdaten, wie z. B. Radgeschwindigkeit, Richtungsänderung, Längs- und Querbeschleunigung sowie andere Daten (Einschalten des Lichts, Blinken u. a.). Nach einem Verkehrsunfall können aus der „Blackbox" – ähnlich wie bei einem Flugschreiber nach einem Flugzeugabsturz – diese Fahrzeugdaten ausgelesen werden, wodurch ein Unfallhergang relativ leicht zu rekonstruieren ist.

Dadurch ist es wesentlich leichter möglich, die Frage nach einem Verschulden eines Unfalls zu klären, insbesondere die heikle Frage nach einer Mitverschuldung. Bei einem Auffahrunfall auf der Autobahn aufgrund eines Spurwechsels durch ein vorausfahrendes Fahrzeug wäre dann z. B. eindeutig nachvollziehbar, ob und wie lange der Vorausfahrende geblinkt hat, wie schnell er ausscherte, mit welcher Geschwindigkeit der Nachfolgende angefahren kam und zu welchem Zeitpunkt er eine Bremsung einleitete. Ein Fahrer, der z. B. mit 200 km/h auf der Autobahn auf ein ausscherendes Fahrzeug auffährt, hätte dann in jedem Fall eine Teilschuld am Unfall, die ihm leicht nachzuweisen ist. Ohne Fahrdatenspeicher hingegen ist der Nachweis eines Mitverschuldens oft sehr schwer. Allein die Möglichkeit, nicht angepasste Geschwindigkeit (d. h. nicht nur eine Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, sondern eine im eigentlichen Sinne nicht an die Verkehrssituation angepasste Fahrgeschwindigkeit) im Falle eines Unfalls nachweisen zu können, dürfte gravierende Auswirkungen auf die Fahrweise vieler Fahrer haben.

Konsequenterweise sollte der eindeutige Nachweis einer grob fahrlässigen Unfallverursachung auch entsprechende Konsequenzen für den Fahrer nach sich ziehen, z. B. durch ein vollständiges oder teilweises Entfallen des Versicherungsschutzes (insbesondere der Vollkaskoversicherung), eine Heraufstufung bei den Versicherungsbeiträgen sowie die üblichen strafrechtlichen Konsequenzen.

Die Technik für einen Fahrdatenschreiber ist längst ausgereift. „Unter Fachleuten ist unbestritten, dass durch UDS [Unfalldatenschreiber, Anm. d. Verf.] die Aufklärung von Unfällen verbessert und die Rechtssicherheit erhöht wird" (Gwehenberger, 2003). Umfassende Studien, bei denen Fahrzeuge mit und ohne Fahrdatenspeicher verglichen wurden (z. B. Ausstattung von Fahrzeugen der Berliner Polizei oder eine Studie mit 1600 Testfahrern in sechs verschiedenen Bundesländern, vgl.

Institut für Umwelt und Verkehr der Landesverkehrswacht Baden-Württemberg, 2001) belegen den positiven Effekt eines Fahrdatenspeichers: Die Anzahl und Schwere der Unfälle ging bei Fahrzeugen mit Fahrdatenspeicher zurück, und die Fahrer fuhren vorsichtiger. Aus diesem Grund gilt die „Blackbox für das Auto“ seit längerem als wichtige Maßnahme der Unfallprävention (Hilse, 1993, S. 74; Hilse, 1995, S. 320; Schneider, 1995, S. 129, Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2002, S. 76).

Häufig geäußerte Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes sind kein Argument. Denn es geht nicht darum, sämtliche Fahrdaten aufzuzeichnen und dauerhaft zu speichern, sondern lediglich Daten einer sehr kurzen Zeitspanne. Beim Unfalldatenschreiber *UDS*® des Herstellers *VDO Kienzle* werden z. B. permanent Daten, die älter als 30 Sekunden sind, wieder überschrieben. Im Falle eines Crashs sind damit lediglich die letzten 30 Sekunden vor einem Unfall rekonstruierbar. Die Ängste vor einem „gläsernen Autofahrer“ sind daher völlig abwegig.

Prinzipiell wäre es in ferner Zukunft jedoch theoretisch durchaus denkbar, dass beispielsweise Geschwindigkeitsüberschreitungen an bestimmten Kontrollpunkten, die das Fahrzeug passiert, automatisch aus dem Speicher ausgelesen werden, Verkehrsregelverstöße automatisch an Polizei oder Versicherung gemeldet werden sowie weitere Aktionen des Fahrers aufgezeichnet werden (im Prinzip wäre jeder Tastendruck registrierbar, z. B. Radiobedienung), die im Falle eines Unfalls gegen ihn verwendet werden können (Dies empfiehlt z. B. die Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, vgl. Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2002, S. 92). Gerade in Kombination mit neuen Fahrerinformations- und Fahrerassistenzsystemen, die den Fahrer bei Fehlern warnen, bei Ignorieren von Warnungen (z. B. zu geringer Sicherheitsabstand, zu schnelles Fahren, Fahren trotz erkannter Müdigkeit, Verkehrszeichen usw.) jedoch automatisch einen Verstoß registrieren, wäre die totale Überwachung und Kontrolle des Fahrers denkbar. Inwieweit dies jedoch wünschenswert ist und wie viele Verkehrsunfälle und Verkehrstote zu welchem Preis (Verlust an persönlicher Freiheit, Einbußen von Komfort und Fahrspaß) für eine Gesellschaft akzeptierbar sind, ist eine andere Frage. Doch von dieser Vision ist die Realität ohnehin weit entfernt.

Für eine wirkungsvolle Verbreitung von Fahrdatenspeichern ist es jedoch notwendig, dass der Gesetzgeber deren Einbau in alle Neufahrzeuge (ähnlich wie beim Einbau von Sicherheitsgurten) vorschreibt. Ein freiwilliger Einbau (auch bei entsprechenden Versicherungsanreizen) in privaten Pkw oder die freiwillige Ausrüstung von Fahrzeugflotten in Unternehmen (der ja bereits jetzt schon möglich ist), wird nicht den gewünschten Effekt haben, zum einen, da ein Fahrzeughalter sich dazu durchringen muss, freiwillig die zusätzlichen Kosten eines Unfalldatenschreibers (ca. 500 €) zu finanzieren und da seine Furcht nachvollziehbar ist, die Daten könnten auch gegen ihn selbst verwendet werden.

5.5.2 Straßenbauliche Maßnahmen

Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt zur Erhöhung der Verkehrssicherheit ist die bauliche Umgestaltung der Fahrumwelt. Durch eine geschickte Gestaltung von Fahrbahnen oder Knotenpunkten unter Berücksichtigung u. a. wahrnehmungspsychologischer Kriterien können Verkehrsteilnehmer auf elegante und effiziente Weise zum erwünschten, verkehrssicheren Verhalten angehalten werden, können Konfliktpotenziale entschärft und die Schwere von Unfallfolgen gemindert werden.

Leider sind bauliche Maßnahmen meist sehr kostspielig, so dass angesichts knapper öffentlicher Gelder die Umgestaltung gefährlicher Unfallstellen nicht aus Mangel an Wissen um typische lokale Unfallarten und Unfallursachen scheitert, sondern schlicht aus Mangel an Geld. In der Bundesrepublik sind Polizei und Behörden zudem gemäß Verwaltungsvorschrift zu § 44 der StVO verpflichtet, zum Zweck der Unfallbekämpfung Statistik über die lokale Häufung von Verkehrsunfällen zu führen (sog. „Unfallsteckkarten“, vgl. Meewes & Maier, 1995, S. 187 ff). Über Gefahrenstellen vor Ort sind daher die zuständigen Behörden in der Regel gut informiert.

Dennoch lassen sich an Hand der untersuchten Unfälle allgemein einige Punkte herausstellen, die aus verkehrsplanerischer Sicht – unabhängig von einer konkreten Unfallstelle – künftig verstärkt beachtet werden sollten.

5.5.2.1 Verkehrskreisel

Ein bedeutendes Potenzial zur Verringerung der Anzahl und Schwere von Unfällen an Knotenpunkten liegt in der Umgestaltung von Kreuzungen zu Verkehrskreiseln. Durch Kreisverkehre lassen sich v. a. Unfälle beim Abbiegen und Unfälle beim Einbiegen oder Kreuzen reduzieren, die zusammen rund 37 % der untersuchten Unfälle ausmachten. Der größte Vorteil eines Verkehrskreisels liegt darin, dass die Fahrer aufgrund der Straßenführung gezwungen sind, ihre Geschwindigkeit stark zu reduzieren. Dies betrifft insbesondere Kreisverkehre außerorts sowie am Beginn von geschlossenen Ortschaften – ein großer Vorteil gegenüber schilder- und ampelgeregelten Kreuzungen, bei denen es auch beim Vorfahrtsberechtigten häufig zu Geschwindigkeitsüberschreitungen kommt, die zur Erhöhung der Unfallgefahr beitragen. Zudem ist ein absichtliches Missachten der (schildergeregelten) Vorfahrt beim Geradeausüberqueren einer vorfahrtsberechtigten Straße nicht mehr möglich, wie es bei etlichen (teilweise sehr schweren) untersuchten Unfällen an Kreuzungen auftrat. Es entfällt auch die Gefahr der Kollision von Linksabbiegern mit Gegenverkehr, wodurch rund 10 % der untersuchten Unfälle verursacht wurden.

Allein das Beispiel des Linkseinbiegens in eine übergeordnete Straße macht deutlich, wie groß die kognitive Entlastung für einen Fahrer ist: Während er an einer Kreuzung den Verkehr aus drei Richtungen im Auge behalten muss (von links, von rechts und entgegen kommend), kann er bei einem Verkehrskreisel seine Aufmerksamkeit voll und ganz auf den von links kommenden Verkehr

im Kreisel richten und braucht an der Ausfahrt lediglich abzufahren. Die in Kapitel 4.1 ausgeführten Ergebnisse (vgl. Tabelle 16) zeigen deutlich, dass das Risiko von Kollisionen mit von links kommenden, vorfahrtsberechtigten Fahrzeugen umso höher ist, je mehr Fahrbahnen der Wartepflichtige für seine beabsichtigte Fahrtrichtung überwachen muss.

Die bisherigen Erfahrungen nach Umgestaltungen von Kreuzungen zu Verkehrskreiseln sind positiv und zeigen eine deutliche Abnahme von Verkehrsunfällen (Abnahme der Unfälle um 42 % und Abnahme der Verletzten um 61 %, vgl. Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung, 1999, S. 46 f). Voraussetzung dafür ist allerdings, dass bei Gestaltung eines Verkehrskreisels bestimmte Kriterien berücksichtigt werden: Beispielsweise muss er gut sichtbar und als solcher erkennbar sein, er muss übersichtlich, begreifbar und erfahrbar sein, der Außendurchmesser sollte zwischen 24 und 32 Meter betragen, Zufahrten sollten einstreifig und nach Möglichkeit baulich voneinander getrennt sein, Fußgängerstreifen sollten vier bis fünf Meter von der Kreisfahrbahn zurückversetzt sein (Meewes & Maier, 1995, S. 219 ff; Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu), 1999, S. 46 f; Brilon, 1993; Brilon, 1997).

5.5.2.2 Maßnahmen gegen Fahrunfälle

Mehr als ein Fünftel aller Unfälle ereigneten sich dadurch, dass Fahrer aufgrund eines Fahrfehlers alleine von der Fahrbahn abkamen. Da die Hauptunfallursache hierfür überhöhte Geschwindigkeit war (vgl. Punkte 4.6.1.2 sowie 4.7.6), müssen sich Maßnahmen zur Unfallprävention vorrangig auf diesen Risikofaktor konzentrieren (vgl. Punkte 5.4.1 sowie 5.5.1.1). Dennoch ließe sich durch Veränderungen der Fahrumwelt eine Verbesserung der Verkehrssicherheit erreichen.

Insbesondere bei Abkommen-Unfällen in der Dunkelheit, bei denen das zu späte Erkennen des Straßenverlaufs eine Mitursache ist, ließe sich die Wahrnehmbarkeit des Fahrbahnverlaufs verbessern. Zu denken ist hier beispielsweise an das Anbringen von Reflektoren direkt am Fahrbahnrand, wie sie zur Absicherung von Baustellen auf Autobahnen verwendet werden. Dies würde v. a. in Kurven auf unbeleuchteten Landstraßen eine leichtere Erkennbarkeit des Fahrbahnverlaufs gewährleisten. Im Gegensatz zum Verkehrszeichen „Richtungstafel in Kurven“, das eine Warnfunktion vor gefährlichen Kurven besitzt und bei einem zu häufigen Einsatz zu einer „Abstumpfung“ des Fahrers führen würde, besitzen diese Reflektoren lediglich eine informierende Funktion, indem sie den Fahrbahnverlauf bei Dunkelheit besser erkennbar darstellen – bei Tageslicht hingegen, wenn sie nicht notwendig sind, fallen sie praktisch nicht auf.

Eine weitere Möglichkeit zur Absicherung von gefährlichen Streckenabschnitten sind Leitpfosten mit Warnblinkern wie sie z. B. von der Schweizerischen Beratungsstelle für Unfallverhütung gefordert werden (Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, 2002, S. 109). Generell sollte auch kritisch hinterfragt werden, ob die Art der Reflektoren, wie sie an Leitpfosten in der Bundesrepublik Deutschland zum Einsatz kommt, tatsächlich ideal ist. Zur Unterscheidung von linken und rechten Leitpfosten dient lediglich die Form der Reflektoren (siehe Abbildung!), nämlich ein senkrechter Balken für rechte und zwei übereinander angeordnete Punkte für linke Leitpfosten. Der Nachteil dabei ist, dass in großen Entfernungen insbesondere von Fahrern mit Sehschwächen zwei Punkte von einem Balken nur schwer zu unterscheiden sind und dadurch die Richtung einer Kurve schwerer erkennbar ist. Andere Länder (z. B. Tschechien, Slowakei) setzen hier Reflektoren ein, die leichter zu unterscheiden sind, beispielsweise für den linken Leitpfosten *rote* Reflektoren, in Form von zwei übereinander angebrachten *Querbalken*.

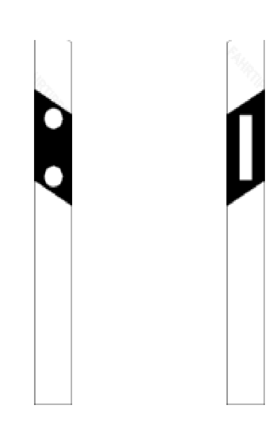


Abbildung 33: Zeichen 602 der StVO in Deutschland; linker und rechter Leitpfosten. In großer Entfernung sind sie bei Dunkelheit schwer zu unterscheiden.

Doch eine vollständige Umrüstung aller Leitpfosten im gesamten Bundesgebiet ist aus Kostengründen sicher unrealistisch, denn in der Praxis bereitet ja bereits der Umstand Probleme, dass auf zahlreichen Landstraßen Fahrbahnrandmarkierungen stark verwittert und dadurch schlecht erkennbar sind oder auf schlecht ausgebauten (dafür jedoch häufig umso kurvenreicheren) Ortsverbindungsstraßen gar nicht vorhanden sind. Hier könnten bereits sehr einfache Mittel zu einer größeren Sicherheit der Fahrbahnen führen, da sie bei Dunkelheit leichter erkennbar wären. Im Übrigen sei daran erinnert, dass auch für das Funktionieren von *Lane Departure Warning* Fahrbahnmarkierungen Voraussetzung sind.

Die bessere Ausrüstung der Straßen für eine bessere Erkennbarkeit bei Dunkelheit ist zudem eine immer noch kostengünstige Alternative im Vergleich zur Ausrüstung von Fahrzeugen mit sichtverbessernden Fahrerassistenzsystemen wie *Night Vision* oder Adaptivem Kurvenlicht. Sie ist einfach, kommt ohne komplizierte, fehleranfällige Technik aus und sie steht *allen* Fahrern, die eine Straße benutzen, zur Verfügung und nicht nur denen, die sich ein neues, teures Auto der Mittel- oder Oberklasse leisten können bzw. leisten wollen.

Ähnliches gilt für eine andere Sicherheitsmaßnahme, die dazu beitragen kann, Unfälle durch Einschlafen am Steuer zu verhindern: Sogenannte „Rumble Stripes", d. h. quergerippte Fahrbahnranderhöhungen, die beim Überfahren ein lautes Geräusch und ein „Rumpeln" des Fahrzeugs verursachen, warnen den Fahrer, wenn er versehentlich zu nahe an den Fahrbahnrand gelangt und von der Fahrbahn abzukommen droht. In den USA wurden gute Erfahrungen mit Rumble Stripes gemacht; die Zahl der Alleinunfälle auf Autobahnen wurde auf derartig ausgestatteten Strecken um

70 % reduziert (GDV, 2000a). Ähnliche Resultate erwarten Unfallforscher auch von einer Einführung in Deutschland auf langen, monotonen Geraden und auffälligen Streckenabschnitten. Diese Maßnahmen wären zudem vergleichsweise günstig (in USA: 2000 US-Dollar pro Kilometer).

Auch hier gilt analog das, was oben zu Maßnahmen zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit der Fahrbahn bei Dunkelheit gesagt wurde: Im Vergleich zu *Lane Departure Warning* oder einer Aufmerksamkeitskontrolle sind Rumble-Stripes eine denkbar einfache, effektive Methode, Müdigkeitsunfälle zu verhindern, sie funktioniert zuverlässig und fehlerfrei, hat nicht mit den Tücken moderner Technik zu kämpfen und steht automatisch allen Fahrern, die eine so ausgestattete Straße benutzen, zur Verfügung. Dass sie so wenig bekannt ist, liegt wohl in erster Linie daran, dass es keine Lobby gibt, die sich für ihre Verbreitung einsetzt, während Fahrerassistenzsysteme von Automobilkonzernen gerne genutzt werden, um sich selbst medienwirksam als modern, fortschrittlich und innovativ in Szene zu setzen, selbst wenn ihre Systeme noch nicht einmal annähernd zuverlässig funktionieren.

Der Staat jedoch, dessen vorrangiges Ziel (im Gegensatz zur Automobilindustrie) es ist, Leben und Gesundheit seiner Bürger zu schützen, sollte seine Entscheidung für oder gegen bestimmte Maßnahmen zur Unfallprävention anhand rationaler Kriterien treffen und diejenigen Maßnahmen ergreifen, die bei vertretbaren Kosten zur größten Reduktion der Anzahl und Schwere von Verkehrsunfällen führen, unabhängig davon, ob eine solche Maßnahme „chic“ ist oder nicht.

Dass Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit in fast allen Fällen aus volkswirtschaftlicher Sicht (unter Berücksichtigung auch der versteckten Kosten von Verkehrsunfällen wie Kosten für medizinische Behandlung, Rehabilitation, Produktivitätsausfälle u. v. m.) auch zugleich wirtschaftlich sind, zeigen die Berechnungen des Eidgenössischen Departments für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2002), die für jede vorgeschlagene Sicherheitsmaßnahme nicht nur den Effekt für die Reduzierung von Getöteten und Schwerverletzten bezifferten, sondern zugleich auch die Wirtschaftlichkeit in Form einer Nutzen- / Kosten-Relation berechneten (vgl. S. 82-91, S. 118; sowie ausführlich Eckhardt & Seitz, 1998 und Eckhardt et al., 2001).

5.5.2.3 Maßnahmen zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von Verkehrszeichen

Insgesamt sechs Unfälle wurden dadurch (mit)verursacht, dass Fahrer das Rotlicht an einer Ampel nicht erkannten, weil sie durch direktes Sonnenlicht geblendet waren oder das Ampellicht Sonnenlicht reflektierte (sechs von neun Rotlicht-Missachtungen, siehe Kapitel 4.7.14, „Potenzial einer Verkehrszeichenerkennung“ sowie Kapitel 4.6.2.2, „Einfluss von Blendung“). Damit ist Sonnenblendung die bei weitem häufigste Ursache von sogenannten „Rotlichtverstößen“ und mit einem Relativen Risiko von 1.89 einer der gefährlichsten Fehler überhaupt, deren Bedeutung bisher weit unterschätzt wurde. Ein Mittel, durch das die Erkennbarkeit von Ampellichtern trotz Sonnenblen-

dung erleichtert wird, sind Ampellichter mit Leuchtdioden anstatt herkömmlicher Glühlampen. Sie besitzen eine höhere Leuchtdichte und sind dadurch auch bei hellem Umgebungslicht besser wahrnehmbar.

Für eine bessere Erkennbarkeit von Verkehrsschildern bei Dunkelheit ist auch zu fordern, dass insbesondere für sicherheitsrelevante (z. B. vorfahrtsregelnde oder die Fahrtrichtung vorschreibende) Verkehrsschilder mindestens stark lichtreflektierende Folien des Reflexfolientyps 2 (besser 3) zum Einsatz kommen. Dies ist zwar ohnehin Vorschrift (vgl. Verwaltungsvorschrift zu § 16 StVO, Anhang D/16-3, „Hinweise für die Wahl der Bauart von Verkehrszeichen"), dennoch lässt leider die Umsetzung dieser Vorschrift häufig zu wünschen übrig. Insbesondere in ländlichen Regionen sind häufig auch für vorfahrtsregelnde Zeichen lediglich schwach rückstrahlende Folien des Typs 1 zu finden. Diese veralteten, einfachen Reflexionsfolien erschweren durch eine geringere Rückstrahlung des Abblendlichts die Erkennbarkeit (insbesondere bei größeren Entfernungen oder einem hell erleuchteten Umfeld mit vielen externen Lichtquellen) des Verkehrsschildes und erhöhen dadurch u. a. das Risiko von Verkehrsunfällen aufgrund übersehener Verkehrsschilder (wie zum Beispiel der Unfall 9, vgl. Kapitel 4.7.14).

Insgesamt elf Unfälle (3.5 %) wurden dadurch mitverursacht, dass Fahrer zum Unfallzeitpunkt Ausschau nach bestimmten Dingen zur Orientierung hielten – in fast allen Fällen waren dies Wegweiser. Das Relative Risiko, unter dieser Verhaltensweise einen Unfall zu verursachen, ist mit 1.65 besonders hoch. Auch wenn berücksichtigt werden muss, dass ein Teil dieses gesteigerten Unfallrisikos auf die kognitive Ablenkung durch die Navigationsaufgabe und nicht nur auf die visuelle Ablenkung (Suchen und Lesen von Wegweisern) zurückzuführen ist, sollte bedacht werden, dass sich durch eine bessere Lesbarkeit von Wegweisern die Blickabwendungsdauer von der Straße und die kognitive Belastung des Fahrers reduzieren lassen.

Ein wichtiges Kriterium für die Lesbarkeit des Wegweisers ist die Größe des Schildes. Am häufigsten waren bei den oben genannten Unfällen einfache Wegweiser (Zeichen 415, 418 oder 419 der StVO) angebracht. Sie finden sich sehr häufig innerorts und an Kreuzungen und Einmündungen auf Landstraßen; insbesondere bei zweizeiliger Beschriftung und wenn mehrere dieser Schilder übereinander montiert werden, ist die Lesbarkeit erschwert. Besser lesbar als mehrere übereinander angebrachte einfache Wegweiser sind sogenannte „Wegweisertafeln" (Zeichen 434), die größer sind und mit ergonomisch sinnvoll gestalteten und angebrachten Richtungspfeilen auf die Fahrtrichtung hinweisen (vgl. § 42 StVO). Aus Kostengründen werden jedoch Wegweisertafeln seltener eingesetzt. Das folgende Bild einer Stoppschild-geregelten Kreuzung ist ein Beispiel für eine verbesserungsfähige Wegweiserbeschilderung:



Abbildung 34: Beschilderung der Fahrtrichtungen an einer gefährlichen, durch Stoppschilder geregelten Kreuzung. Die weiß eingezeichneten Pfeile deuten auf jeweils zwei Richtungswegweiser, die aus der Entfernung sehr schwer zu erkennen sind. Die rechten Wegweiser (relevant für Rechtsabbieger) befinden sich zu weit hinten, nämlich auf der zweiten Verkehrsinsel; sie sollten sich jedoch auf der ersten Verkehrsinsel unmittelbar an der Spur für Rechtsabbieger befinden. Die beiden Wegweiser am linken Fahrbahnrand, die nach links weisen, sind aus dieser Entfernung ebenfalls schwer zu lesen (das obere Schild beinhaltet zudem zwei Zeilen). Doch bereits an dieser Stelle sollten Linksabbieger sich auf die Linksabbiegerspur einordnen. Besser wäre eine große Wegweisertafel am rechten Fahrbahnrand, denn kleine und an ungünstiger Position angebrachte Wegweiserschilder erschweren unnötig die Lesbarkeit, verlängern die Blickabwendungsdauer und erhöhen somit das Risiko, bei Abbiegevorgängen andere Verkehrsteilnehmer zu übersehen.

Das oben abgebildete Foto wurde bei Dämmerung aufgenommen; bei Dunkelheit ist die Erkennbarkeit der Wegweiser entsprechend schlechter. Um Kosten zu sparen, werden Wegweiser häufig zusätzlich an Pfosten montiert, an denen bereits andere Verkehrszeichen angebracht sind, die für Fahrzeuge aus anderen Fahrtrichtungen gelten (so auch hier, jedoch auf dem Bild schlecht erkennbar); dadurch stehen sie oft an einer ungünstigen Position, so wie hier die nach rechts weisenden Wegweiser. Durch eine bessere Ausschilderung mit größeren, gut lesbaren Wegweisertafeln, die an sinnvoller Stelle platziert werden, könnte die Verkehrssicherheit dieser Kreuzung erhöht werden.

Zu Maßnahmen zur Verbesserung der Wahrnehmbarkeit von Leitpfosten und Fahrbahnrandmar-

kierungen, die ebenfalls zu den Verkehrszeichen zählen, siehe vorausgehenden Abschnitt!

5.5.2.4 Maßnahmen gegen Sichtverdeckungen

Sichtverdeckung stellte sich als ein Risikofaktor heraus, der bei jedem fünften Verkehrsunfall zur Unfallentstehung beitrug (vgl. Kapitel 4.6.2.3). Gegen manche dieser sichtverdeckenden Objekte lässt sich praktisch nichts ausrichten, wie z. B. Kuppen (rund 10 % der Sichtverdeckungen) oder andere Fahrzeuge (meist Lkw, rund 30 %). Die häufigste Quelle, nämlich Sichtverdeckung aufgrund von Bepflanzung (rund 40 % der Sichtverdeckungen) insbesondere an Knotenpunkten, muss jedoch keineswegs hingenommen werden. Hier ließe sich bereits durch einfachste Maßnahmen mehr Sicherheit herstellen. Auch wenn es teilweise trivial klingt, sei dennoch auf folgende Punkte hingewiesen, da sich wohl kaum mit geringerem Aufwand ein so großer Gewinn für eine verkehrssichere Fahrumwelt erreichen lässt:

- In den Sommermonaten muss an Verkehrsknotenpunkten hohes Gras auf Grünstreifen am Fahrbahnrand gemäht werden.
- An Knotenpunkten sollte bei Maisfeldern ein ausreichender Abstand zu Vorfahrtsstraßen eingehalten werden, um Autofahrern, die aus einer untergeordneten Straße kommen, eine bessere Einsehbarkeit zu gewährleisten.
- An Knotenpunkten sind Sträucher, die die Einsehbarkeit in eine Kreuzung erschweren, zu stutzen (häufige Quelle der Sichtverdeckung!). Bei Neubauten von Straßen ist darauf zu achten, dass dort gar nicht erst größer werdende Gewächse gepflanzt werden.
- Bei Straßen, die durch einen Wald führen (insbesondere auf schlecht ausgebauten, schmalen, kurvenreichen Ortsverbindungsstraßen ohne Mittelleitlinie), sollten zumindest in Kurven (besser auf der gesamten Strecke) auf einem mindestens vier Meter breiten Streifen neben der Fahrbahn keine Bäume stehen, um die Einsehbarkeit in Kurven zu verbessern und dadurch Gegenverkehrsunfälle auf der schmalen Straße zu verhindern. Dies erhöht zudem die passive Sicherheit im Falle eines Abkommens von der Fahrbahn.

Eine häufige Quelle für Sichtverdeckungen waren auch Hecken und Sträucher auf privaten Grundstücken, jedoch dürfte es hier kaum möglich sein, Eigentümer dazu zu bringen, ihre Pflanzen entsprechend zu kürzen. Für Pflanzen im gesamten öffentlichen Bereich sind jedoch die zuständigen Behörden für eine gute Einsehbarkeit von Kreuzungen und Einmündungen verantwortlich.

Rund 8 % aller Sichtverdeckungen sind auf große, niedrig angebrachte Reklameschilder, Schilder zur touristischen Information oder Werbebanner zurückzuführen (für ein Beispiel (Werbebanner an einem Bauzaun) siehe Unfall 246, Kapitel 4.6.2.3). Damit besitzen sie zwar nicht dieselbe Bedeutung wie Sichtbehinderungen durch Vegetation, jedoch wären dadurch entstehende Gefährdungen leicht vermeidbar.

5.5.2.5 Sanierung von Unfallschwerpunkten

Da nicht angepasste Geschwindigkeit sich als die bedeutendste Unfallursache herausstellte (vgl. Punkte 4.6.7 sowie 5.4.1) bedeutet eine Sanierung von Unfallschwerpunkten v. a., dass an diesen Stellen (in der Regel an Verkehrsknotenpunkten) Maßnahmen für Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeit ergriffen werden müssen.

Eine wichtige und effiziente Maßnahme wurde bereits oben erläutert: Der Umbau von Kreuzungen zu Verkehrskreiseln. Eine weitere bewährte Methode sind sogenannte Aufpflasterungen (Teilaufpflasterungen und Plateaupflasterungen), die insbesondere in Wohngebieten, in denen Tempo 30 durchgesetzt werden soll, zur Geschwindigkeitsreduzierung beitragen. Voraussetzung ist allerdings, dass auf längeren Straßenabschnitten diese Aufpflasterungen in entsprechend kurzen Abschnitten wiederholt werden, da Fahrer versuchen, „auf möglichst kurzen Wegen (50 m bis maximal 70 m) das ihrer Meinung nach der Strecke angemessene Geschwindigkeitsverhalten (V85 etwa 50 km/h) wieder zu erreichen“ (Meewes & Maier, 1995, S. 236). Für eine punktuelle Verringerung der Geschwindigkeit (z. B. unmittelbar vor einem gefährlichen Knotenpunkt) eignen sich zudem insbesondere Fahrgassenversätze.

Eine Verringerung der Geschwindigkeit von Autofahrern beim Rechtsabbiegen an Knotenpunkten lässt sich außerdem durch eine Verringerung der Kurvenradien erreichen. Zu empfehlen ist dies insbesondere dann, wenn parallel zur (vorfahrtsberechtigten) Straße, in die der Fahrer einbiegen will, ein Radweg verläuft (vgl. z. B. den Unfall 246, Kapitel 4.6.2.3). Dadurch wird ein zu rasches Abbiegen erschwert und die Gefahr, einen Radfahrer zu übersehen (insbesondere dann, wenn diese verbotswidrig den Radweg in der falschen Fahrtrichtung benutzen und damit aus Sicht des Autofahrers von rechts kommen), sinkt dadurch.

An einem Knotenpunkt, an dem zahlreiche Unfälle durch überhöhte Geschwindigkeiten des bevorrechtigten Verkehrs mitverursacht werden, ist zudem die Installation einer ortsfesten Anlage zur Überwachung der Geschwindigkeit sinnvoll. Dem Autofahrer kann diese Anlage dabei durchaus durch ein entsprechendes Schild am Straßenrand („Radarkontrolle“) mitgeteilt werden, da der Sinn dieser Kontrolle schließlich nicht ist, möglichst viele Autofahrer „in die Falle zu locken“, sondern aus Gründen der Unfallprävention an einem Unfallschwerpunkt die Einhaltung einer bestimmten Geschwindigkeit durchzusetzen. Für einen Überblick über weitere Maßnahmen zur Sanierung von Unfallschwerpunkten siehe Meewes und Maier (1995), S. 180-247.

6 Schlusswort

Der Mensch ist der entscheidende Faktor bei der Entstehung von Verkehrsunfällen. Dies ist seit langem bekannt – schließlich sind die meisten Unfälle auf seine Fehler und sein Fehlverhalten zurückzuführen. Dennoch war bisher der Begriff „Verkehrsunfallforschung" nahezu gleichbedeutend mit der technischen Rekonstruktion eines Verkehrsunfalls sowie der Untersuchung von Deformationen am Fahrzeug und Verletzungen der Insassen. Das Resultat dieses völlig einseitigen Verständnisses ist, dass man heute nach mehreren Jahrzehnten dieser Art von Verkehrsunfallforschung viel über Unfallabläufe und Unfallfolgen, aber nur wenig über die Unfallursachen weiß.

Die vorliegende Arbeit hat deutlich gemacht, wie wichtig es ist, den Fahrer stärker ins Zentrum der Verkehrsunfallforschung zu rücken. Der Erkenntnisgewinn für jeden einzelnen Unfall sowie für das gesamte Unfallaufkommen ist immens. Denn das richtige Befragen der Fahrer zur Situation vor dem Unfall und zum Unfallhergang selbst liefert Erkenntnisse, die nur auf diese und sonst keine andere Art und Weise gewonnen werden können.

Für die Unfallforschung ist die Verkehrspsychologie daher der entscheidende Schlüssel zum Verständnis von Unfallursachen – und für die Verkehrspsychologie ist die Unfallforschung mit der verkehrspsychologischen Analyse des Fahrerverhaltens vor einem Unfall eine unverzichtbare Ergänzung zu anderen Forschungsansätzen wie z. B. Untersuchungen im Labor, im Fahrsimulator oder im Versuchsfahrzeug.

Die vorliegende Studie hat ebenfalls gezeigt, dass es durchaus möglich ist, einen sehr komplexen Untersuchungsgegenstand, nämlich die Entstehung eines Verkehrsunfalls, an dem extrem viele Variablen beteiligt sind, mit einer geeigneten Methodik dennoch in den Griff zu bekommen. Durch die Berechnung Relativer Risiken bei den Verursacheranalysen war es sogar möglich, zu harten, statistisch abgesicherten, quantitativen Aussagen zu kommen, die ein neues Licht auf die Bewertung bekannter Risikofaktoren werfen.

Mit dieser Arbeit konnten jedoch längst nicht alle Fragen, die in diesem Zusammenhang interessant wären, untersucht werden. Der Grund ist, dass für spezielle Fragestellungen die Datenbasis trotz der über 300 untersuchten Unfälle immer noch zu gering ist. Denn dadurch, dass es sehr viele verschiedene Ursachen für Verkehrsunfälle gibt, entfallen auf eine bestimmte Ursache stets relativ wenig Fälle, wodurch der statistische Nachweis eines Effekts generell erschwert wird. Dies gilt besonders für eingeschränkte Fragestellungen wie zum Beispiel: „Welches sind die Unfallursachen von Fahrern, die *älter als 65 Jahre* sind *und zugleich* einen Unfall an einer Kreuzung oder Einmündung hatten *und zugleich* eine geringe Ortskenntnis besaßen?" Setzt man einen derartigen Filter, bleiben auch bei den hier untersuchten mehr als 500 Fahrern kaum noch solche übrig, die für eine Auswertung in Frage kommen. Notwendig wäre dafür etwa die zehnfache Datenmenge – und damit auch der zehnfache Zeitaufwand. Weitere Forschung in dieser Richtung ist daher nötig. Doch

wenn die verkehrspsychologische Befragung der Fahrer in Zukunft zum festen Bestandteil jeder Art von Verkehrsunfallforschung (z. B. bei den einzelnen Automobilherstellern) wird, ist dieses Ziel in greifbarer Nähe.

Neben der Erforschung von Unfallursachen und Risikofaktoren waren die Möglichkeiten einer verbesserten Unfallprävention der zweite Schwerpunkt dieser Arbeit. Im Mittelpunkt standen hierbei Fahrerassistenzsysteme, die sich zur Zeit in der Entwicklung befinden bzw. gerade in den Markt eingeführt werden. Diese neuen Technologien bringen prinzipiell ein enormes Potenzial zur Vermeidung von Verkehrsunfällen mit sich. Es kommt jedoch darauf an, diese Möglichkeiten auch entsprechend zu nutzen. Diese Arbeit enthält eine Fülle von konkreten Hinweisen und Empfehlungen für die Gestaltung dieser Systeme, die zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen können. Hier zeigt sich, dass die Analyse von Verkehrsunfällen nicht nur etwa für die Grundlagenforschung interessant ist, sondern einen ungemein praktischen Anwendungsbezug hat. Gleichzeitig handelt es sich um Erkenntnisse, die nur durch Befragung von Fahrern nach einem Unfall und nicht durch herkömmliche Forschungsansätze gewonnen werden können.

Es wäre wünschenswert, wenn zukünftig bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen dem tatsächlichen Unfallgeschehen etwas mehr Aufmerksamkeit geschenkt würde: Bisher liegt der Fokus der Entwickler fast ausschließlich auf dem alltäglichen Gebrauch eines Systems, auf der Nutzung in einer Standardsituation, die von der Technik – und damit auch meist zugleich vom Fahrer – problemlos zu beherrschen ist. Eigentlich ist jedoch ein solches System gerade für das Gegenteil gedacht, nicht für den Normalfall, sondern für die absolute Ausnahme, für die Extremsituation, für den Augenblick vor einem (drohenden) Unfall. Aus diesem Grund ist es wichtig, eben diese Ausnahmesituationen zu erforschen, um deren Entstehungsbedingungen und das Verhalten der Fahrer in solchen Situationen zu kennen.

Kein Experiment im Fahrsimulator beispielsweise, bei dem die Funktion eines *Lane Departure Warning*-Systems getestet wird und das Kriterium für die Qualität des Systems die Spurhaltegüte (d. h. die Abweichung von einer theoretischen „Idealspur“) ist, ist vergleichbar mit der Realität der allermeisten Unfälle durch Abkommen von der Fahrbahn, die fast immer so aussieht: Ein übermüdeter, alkoholisierter oder stark visuell abgelenkter Fahrer, der häufig viel zu schnell fährt, wird völlig überrascht vom Rumpeln der rechten Räder, die im Bankett fahren, erschrickt und verreißt in Panik das Lenkrad, um aus dieser Situation wieder herauszukommen. Genau für eine solche Situation jedoch sollte ein Spurassistenzsystem gemacht sein.

Die Hoffnungen, die derzeit auf Fahrerassistenzsysteme gesetzt werden, sind verständlicherweise sehr groß. Dennoch sollte man ihre Möglichkeiten nüchtern sehen und sich nicht von der Faszination der Technik oder gar den Verheißungen aus den Marketingabteilungen der Automobilkonzerne blenden lassen, für die Fahrerassistenzsysteme auch ein Mittel sind, um das eigene Marken-Image aufzupolieren und sich selbst als fortschrittlich und innovativ zu präsentieren. Die Analyse der Unfalldaten zeigte, dass diese Systeme einen wichtigen Beitrag zur Unfallprävention leisten können,

aber sie sind auch kein Allheilmittel.

Nicht unterschätzen sollte man daher konventionelle Mittel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. Von ihnen wurden hier ebenfalls eine ganze Reihe diskutiert. Dass es sich hierbei um keine neuen Erkenntnisse handelt, sondern um Maßnahmen, deren Wirksamkeit längst belegt ist, schmälert ja nicht deren Wert – im Gegenteil. Was am Ende zählt, ist schlicht der Erfolg einer Maßnahme. Ob ein tödlicher Verkehrsunfall aufgrund modernster Technologie oder beispielsweise einfach nur aufgrund eines schärferen Gesetzes verhindert wurde, ist überhaupt nicht relevant – Hauptsache, er wurde verhindert.

Der Umstand, dass die Möglichkeiten konventioneller Unfallprävention bei Weitem nicht ausgeschöpft sind, ist jedenfalls keine Folge mangelnder Erkenntnis. Es ist eine Frage des politischen und gesellschaftlichen Willens. Denn selbstverständlich gibt es mehr Sicherheit nicht ohne Kosten und Aufwand.

Eine ganze Reihe von Fragen wird dadurch aufgeworfen: Wie viele Steuergelder sind uns höhere Investitionen in mehr Verkehrssicherheit wert? Wie wichtig sind uns ein schnelles und bequemes Vorankommen? Welchen Stellenwert hat für uns die individuelle Mobilität? Wie viele Reglementierungen durch die Straßenverkehrsordnung und wie viel Kontrolle durch die Polizei sind wir bereit zu akzeptieren? Welche Sanktionen empfinden wir bei Verkehrsdelikten als angemessen? Im Prinzip lässt sich dies alles auf vier Aspekte reduzieren: Geld, Zeit, Freiheit und Komfort. Mit diesen vier Gütern müssen wir Verkehrssicherheit bezahlen.

Auf der anderen Seite steht die Frage: Wie viele Verkehrsunfälle, wie viele Verletzte und Tote sind wir bereit in Kauf zu nehmen? In der Bundesrepublik Deutschland sind es pro Jahr rund eine halbe Million Verletzte und 7000 Tote, die vom Großteil der Bevölkerung achselzuckend als vermeintlich unvermeidlicher Preis der Mobilität hingenommen werden. Jedem vernünftig denkenden Menschen dürfte klar sein, dass diese Zahl deutlich zu hoch ist. Gleichzeitig leuchtet jedoch auch ein, dass diese Zahl nicht auf Null reduziert werden kann – jedenfalls nicht zu vertretbaren Kosten. Gleichwohl wäre eine Senkung um mehrere Tausend Tote erreichbar.

Was müsste sich in der Gesellschaft ändern, um dieses Ziel zu erreichen? Es ließe sich jetzt leicht mit dem Finger auf andere zeigen: Auf die Politik beispielsweise, die nicht das Rückgrat hat, sinnvolle Gesetze gegen den Druck der Automobil-Lobby durchzusetzen (Stichwort: Tempolimit) und nicht den Mut, unpopuläre Entscheidungen gegenüber ihrer Wählerschaft zu vertreten. Oder auf die Automobilindustrie, die sich bei der Konzeption ihrer Fahrzeuge in einem Konflikt zwischen Verkehrssicherheit und Kundenwunsch letztlich immer zugunsten des Kundenwunsches entscheidet, da Wirtschaftsunternehmen letztlich dem Profit und nicht der allgemeinen Verkehrssicherheit verpflichtet sind. Doch das wäre zu einfach.

Höhere Verkehrssicherheit ist vor allem eine Frage des gesellschaftlichen Willens. Und die Gesellschaft sind wir alle – als Bürger, Wähler, Autokäufer oder Verkehrsteilnehmer. In unserem alltägli-

chen Handeln entscheiden wir uns permanent neu, entweder für oder gegen Sicherheit im Straßenverkehr – vom Kauf eines neuen Autos bis hin zu unserem täglichen Verhalten im Verkehr, wie bei der Wahl der Geschwindigkeit oder des Sicherheitsabstands. Es wäre schön, wenn diese vielen, kleinen, alltäglichen Entscheidungen in Zukunft von etwas mehr Einsicht und Vernunft geprägt wären.

7 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Frage, was die Ursachen von Verkehrsunfällen sind und welche Maßnahmen für eine verbesserte Unfallprävention geeignet sind. Der Schwerpunkt bei der Frage nach Mitteln zur Unfallreduzierung lag hierbei auf Fahrerassistenzsystemen, deren Unfallvermeidungspotenzial in der Praxis analysiert wurde. Zudem wurden auf Basis der Unfallanalysen Empfehlungen für deren nutzergerechte und verkehrssichere Gestaltung entwickelt.

Für die Studie wurden insgesamt 312 Verkehrsunfälle mit 528 Fahrern umfassend analysiert: Mit den Fahrern wurden umfangreiche strukturierte Interviews zum Unfallhergang geführt und deren Wahrnehmungen, Kognitionen und motorische Reaktionen in der Pre-Crash-Phase detailliert erfragt. Zusätzlich wurden die Unfallstelle fotografiert und nach verkehrspsychologischen Kriterien analysiert, der Unfallhergang technisch rekonstruiert und Daten aus der Verkehrsunfallanzeige der Polizei ausgewertet.

Das Verhalten der Fahrer in den letzten Sekunden vor dem Unfall wurde einer Fehleranalyse unterzogen und aufgetretene Fehler anhand von zwei verschiedenen Fehlermodellen („Modell der internalen Fehlfunktion“ nach Rasmussen, 1982 und „Modell der gefährdenden Verhaltensweisen“ nach Reason, 1990) klassifiziert.

Der Einfluss verschiedener Verhaltensweisen, Ereignisse oder Eigenschaften auf das Unfallrisiko wurde durch Verursacheranalysen untersucht. Dazu wurden alle Fahrer nach Unfallverursachern und Nicht-Unfallverursachern (= Unfallbeteiligte) unterschieden. Zudem wurde unterschieden, ob der Fahrer einem bestimmten Risiko kurz vor dem Unfall exponiert war oder nicht. Durch Berechnung eines Relativen Risikos – dem Quotienten aus der Unfallverursachungsrate bei den exponierten Fahrern und der Unfallverursachungsrate bei den nicht exponierten Fahrern – konnte das Risiko bestimmter Einflussfaktoren quantitativ bestimmt und miteinander verglichen werden. Das Einbeziehen von Unfallbeteiligten als „Kontrollgruppe“ (anstatt der ausschließlichen Befragung der Unfallverursacher) ist bei Unfallanalysen dieser Breite und Tiefe bislang einmalig und verleiht den Ergebnissen hohe Aussagekraft.

Die Auswertung der Fehleranalyse nach Rasmussen (1982) ergab, dass die meisten Verkehrsunfälle (76.9 %) durch Informationsfehler verursacht wurden, d. h. dadurch, dass Fahrer verkehrsrelevante Informationen gar nicht oder zu spät wahrgenommen hatten. Alle anderen Fehlerarten traten wesentlich seltener auf: Diagnosefehler lagen bei 7.7 % aller Unfälle, Zielsetzungsfehler bei 5.8 %, Handlungsfehler bei 12.2 %, Bedienungsfehler bei 1.9 % und Strukturelle Fehler bei 7.4 %.

Die Fehleranalyse nach Reason (1990) zeigte, dass Verstöße einen starken Einfluss auf die Unfallentstehung haben: Insgesamt beging rund ein Drittel der Fahrer (35.4 %) einen oder mehrere Verstöße. Routineverstöße erhöhten das Unfallrisiko um 40 (RR=1.43), Ausnahmeverstöße sogar

um 60 Prozent (RR=1.62).

Die Auswertung der Verursacheranalysen zeigte, dass unter dem Einfluss bestimmter Risikofaktoren die Wahrscheinlichkeit einer Unfallverursachung signifikant um 30 bis 100 Prozent erhöht ist. Darunter sind auch Faktoren, deren Bedeutung bisher weit unterschätzt wurde bzw. deren Einfluss vermutet, jedoch mangels empirischer Daten bisher nicht belegt werden konnte. Die Relativen Risiken dieser Einflussfaktoren sind (der Größe nach geordnet): Negative Emotion (RR=2.01), Müdigkeit (RR=1.94), kognitive Ablenkung (RR=1.90), Sonnenblendung (RR=1.89), nicht angepasste Geschwindigkeit (RR=1.85), Ablenkung durch die Navigationsaufgabe (RR=1.65), mangelnde Ortskenntnis (RR=1.62), Alkoholisierung (RR=1.55), Fehlen eines früher absolvierten Fahrsicherheitstrainings (RR=1.40), mangelnder Sicherheitsabstand (RR=1.39), Ablenkung durch Objekte außerhalb des Fahrzeugs (RR=1.32) und Ablenkung durch Objekte innerhalb des Fahrzeugs (RR=1.30).

Anhand der verschiedenen Unfallarten und Unfallursachen wurde das Potenzial einzelner Fahrerassistenzsysteme für eine Unfallvermeidung bestimmt. Als das System mit dem größten Potenzial stellte sich die Automatische Notbremse heraus – sie hätte bei bis zu 57 Prozent aller Unfallverursacher einen Unfall möglicherweise noch verhindern oder dessen Folgen abschwächen können. Das Unfallvermeidungspotenzial eines Abstandsregel-Tempomaten und eines Spurassistenzsystems ist ebenfalls hoch: In jeweils maximal einem Fünftel aller Unfälle hätten diese Systeme einen Unfall verhindern können.

Ein mittel großes Potenzial besitzen die Assistenzsysteme Verkehrszeichenerkennung, Aufmerksamkeitskontrolle und Spurwechselassistent (jeweils sechs bis acht Prozent aller Unfälle), ein sehr geringes Potenzial haben Assistenzsysteme, die die Sicht des Fahrers erweitern (*Night Vision* maximal zwei Prozent aller Unfälle; der Nutzen eines Adaptiven Kurvenlichts für die Unfallprävention geht gegen Null).

Alle Fahrerassistenzsysteme wurden vor dem Hintergrund der Unfalldaten – insbesondere im Zusammenhang mit dem Vorhandensein bestimmter Risikofaktoren zum Unfallzeitpunkt – auf ihre Anfälligkeit hinsichtlich Verhaltensadaptationen (v. a. Risikokompensationen) auf Seiten der Fahrer diskutiert. Es wurden zudem zahlreiche konkrete Empfehlungen gegeben, wie einzelne Assistenzsysteme gestaltet werden müssen, um einen möglichst großen Nutzen für die Unfallprävention zu erzielen, unerwünschte Nebenwirkungen zu reduzieren und Verkehrsgefährdungen durch einen Missbrauch dieser Systeme vorzubeugen. Ergänzend dazu wurden aus den Ergebnissen der Auswertung von Unfallursachen und Risikofaktoren Schlussfolgerungen für eine verbesserte Unfallprävention gezogen und die wichtigsten gesetzgeberischen, polizeilichen und straßenbaulichen Maßnahmen aufgezeigt.

8 Literaturverzeichnis

Ach, N. (1927). Rücksichtsloses und rücksichtsvolles Fahren. *Verkehrstechnik, 25,* 431-433.

Ach, N. (1929). Psychologie und Technik bei Bekämpfung von Auto-Unfällen. *Industrielle Psychotechnik, 6* (3), 87-105.

ADAC (1998). *Verkehr auf Autobahnen. Das Für und Wider einer generellen Geschwindigkeitsbeschränkung*. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.adac.de/images/8_12588.pdf [2003.06.13].

Aeron-Thomas, A. (2000). *Under-reporting of road traffic casualities in low income contries*. Unpublished Project Report, PR/INT/199/00.

Anund, A. & Peters, B. (2003). *System for effective assessment of driver vigilance and warning according to traffic risk estimation. Preliminary pilot plans*. Contract No. IST-2000-28062. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.awake-eu.org/pdf/awake_d7_1.pdf [2003.06.11].

Aberg, L. & Rimmö, P.-A. (1998). Dimensions of aberrant driver behaviour. *Ergonomics, 41* (1), 39-56.

Automotive Intelligence (2002). *Mercedes-Personenwagen verunglücken seltener*. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.autointell.de/News-deutsch-2002/Dezember-2002/Dezember-2002-1/Dezember-05-02-p2.htm [2003.07.23].

Bartmann, A., Reiffenrath, D. et al. (1993). *Sichtabstand bei Fahrten in der Dunkelheit*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M4. Bergisch Gladbach.

Baum, H. & Kling, T. (1997). *Verbesserung der Verkehrssicherheit durch Versicherungsanreize*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 82. Bergisch Gladbach.

Becker, H., Donner, E. et al. (2003). Großzahlenmaterial, „In-Depth“ Erhebungen und Einzelfallanalyse, Werkzeuge zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit im Volkswagenkonzern. In H. Brunner & H. Zwipp (Hrsg.), *1. Dresdner Tagung. Verkehrssicherheit interdisziplinär vom 27.-28. Juni 2003. Tagungsband* (S. 89-103). Dresden: Eigenverlag.

Beierle, B. (1995). *Psychologische und technische Analyse von Lkw-Verkehrsunfällen*. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.

Bernotat, R. (1970). Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics, 13,* 353-377.

Bock, O. & Brühning, E. (1989). *Aufbereitung und Auswertung von Fahrzeug- und Unfalldaten*.

Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft 71. Bergisch Gladbach.

Böhm, H., Schneider, W. et al. (1965). *Verkehrsteilnehmergruppen und Verkehrserziehungsmittel*. Forschungsgemeinschaft „Der Mensch im Verkehr“ e.V. (Hrsg.). Köln.

Bossi, L. L., Ward, N. J. et al. (1997). The effect of vision enhancement systems on driver peripheral visual performance. In Y. I. Noy (Eds.), *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

Braess, H.-H. & Reichart, G. (1995). Prometheus: Vision des „intelligenten Automobils“ auf „intelligenter Straße“? – Versuch einer kritischen Würdigung – Teil 1. *ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 97* (44), 200-205.

Brilon, W. (1993). *Kleine Kreisverkehre – Empfehlungen zum Einsatz und zur Gestaltung; Bausteine für die Planungspraxis in NRW*, Düsseldorf: MSV.

Brilon, W. (1997). Sicherheit von Kreisverkehrplätzen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 43,* 22-28.

Broen, N. L. & Chiang, D. P. (1996). Braking response times for 100 drivers in the avoidance of an unexpected obstacle as measured in a driving simulator. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting*, pp. 900-904. Santa Monica, CA. Human Factors Society.

Brown, I. D. (1990a). Drivers’ margins of safety considered as a focus for research on error. *Ergonomics, 33* (10/11), 1307-1314.

Brown, I. D. (1990b). Accident reporting and analysis. In J. R. Wilson & E. N. Cortlett (Eds.): *Evaluation of Human Work*. Taylor and Francis, London, pp 755-778.

Bundesamt für Statistik (2002). *Verkehr. Verkehrsunfälle. 2001*. Fachserie 8 / Reihe 7. Stuttgart: Metzler-Poeschel.

Bundesgerichtshof (2001). *Bundesgerichtshof entscheidet über Atemalkoholmessung*. Mitteilung der Pressestelle. Nr. 29/2001.

Busch, S., Stanzel, M. et al. (2003). Einsatzmöglichkeiten der GIDAS-Daten für Fragestellungen der aktiven Sicherheit. In H. Brunner & H. Zwipp (Hrsg.), *1. Dresdner Tagung. Verkehrssicherheit interdisziplinär vom 27.-28. Juni 2003. Tagungsband* (S. 120-131). Dresden: Eigenverlag.

Cannon, W. B. (1932). *The wisdom of the body*. New York: Norton.

Chaloupka, C., Risser, R. et al. (1998). *Auswirkungen neuer Technologien im Fahrzeug auf das Fahrverhalten*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 84. Bergisch Gladbach.

Daimler-Chrysler (2000a). *Das mitdenkende Fahrzeug – wie Assistenzsysteme den Fahrer unterstützen* [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www. daimlerchrysler.com/index_g.htm?/news/top/2000/t01113_g.htm [2003.06.13].

Daimler-Chrysler (2000b). *Bessere Sicht bei Nacht*. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.daimlerchrysler.com/index_g.htm?/news/top/2000/t01113_g.htm [2003.06.25].

Daimler-Chrysler (2002a). *Hallo, wach? Die Ermüdung des Fahrers rechtzeitig und zuverlässig erkennen*. In: Hightech Report 2/2002, S. 56. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.daimlerchrysler.com/research/htr2002-2/pdf_g/fahrermuedigkeit_g.pdf [2003.06.13].

Daimler-Chrysler (2002b). *Autos mit Gefühl*. In Hightech Report 1/2002, S. 56. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.daimlerchrysler.com/research/htr2002/pdf_g/elektronik_7_g.pdf [2003.06.24].

Daimler-Chrysler (2002c). *Kreuzungen unfallfrei passieren*. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.daimlerchrysler.com/index_g.htm?/research/htr2002-2/htr2002-2_unfallfrei_g.htm [2003.06.13].

Davison, P. A. (1986). Inter-relationships between British driver's age, visual attributes, and road accident histories. In A. G. Gale et al. (Eds.), *Vision in Vehicles*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

De Velde Harnsenhorst, J. J. & Lourens, P. F. (1991). Aspects of driving behaviour in learner and inexperienced drivers. In A. G. Gale et al. (Eds.), *Vision in Vehicles*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

Dietrich, K., Lindenmann, H.-P. & Chabot-Zhang, Y. (1998). *25 Jahre IVT-Messungen zum Verkehrsablauf auf Autobahnen*. Schriftenreihe des IVT Nr. 118, Eidgenössische Technische Hochschule, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Zürich.

Drösler, J. (1965). Zur Methodik der Verkehrspsychologie. In C. Hoyos (Hrsg.), *Psychologie des Straßenverkehrs*. Bern: Huber.

Echterhoff, W. (1991). *Verkehrspsychologie: Entwicklung, Themen, Resultate*. Köln: TÜV Rheinland.

Eckhardt, A. & Seitz, E. (1998). *Wirtschaftliche Bewertung von Sicherheitsmassnahmen*. bfu-Report 35, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu. Bern.

Eckhardt, A., Perrin, M. et al. (2001). Wirtschaftliche Bewertung von Verkehrssicherheitsmassnahmen (WIVSIMA). Bericht im Rahmen von VESIPO.

Ehmanns, D, Wallentowitz, H. et al. (2000). *Zukünftige Entwicklungen von Fahrerassistenzsystemen und Methoden zu deren Bewertung*. 9. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2000. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.pelops.de/pdf/ACKolloquium2000_3.pdf [2003.07.11].

Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2002). *Erarbeitung der Grundlagen für eine Strassenverkehrssicherheitspolitik des Bundes*. Schlussbericht. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.bfu.ch/vision-zero/vesipo_schlussbericht_d.pdf [2004.02.24].

Erke, H. (1993). Vorgaben an die Verkehrsplanung. Anforderungen an den Menschen aus Sicht der ökologischen Psychologie. In E. Lang & K. Arnold (Hrsg.), *Der Mensch im Straßenverkehr*. Stuttgart: Enke.

Europäische Kommission (1998). *Managing speeds of traffic in European roads (MASTER)*. Project funded by the European Commission under the RTD programme of the 4th framework programme, Final Report.

Europäische Kommission (2001). *Weißbuch – Die europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft*. Luxembourg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften.

Evans, L. (1985). Human behavour feedback and traffic safety. *Human Factors, 27,* 555-576.

Färber, B. & Färber B. (2003). *Auswirkungen neuer Informationstechnologien auf das Fahrverhalten.* Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 149. Bergisch Gladbach.

Färber, B. (2000). „Alte“ Methoden zur Analyse von Nutzeranforderungen an neue Technologien – dargestellt am Beispiel ACC. In Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), *Informations- und Assistenzsysteme im Auto benutzergerecht gestalten. Methoden für den Entwicklungsprozeß*. Heft M 116. Bergisch Gladbach.

Fenichel, O. (1928). The clinical aspect of the need for punishment. *International Journal of Psychoanalysis, 9,* 47-70.

Fischhoff, B., Lichtenstein, S. et al. (1993). *Acceptable risk*. Cambridge: University press.

Fuller, R. (1984). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance. *Ergonomics, 11,* 1139-1155.

GDV (2000a). *Müdigkeit eine der wichtigsten Unfallursachen – Technische Warnsysteme noch wenig ausgereift*. Pressemitteilung vom 05.12.2000. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.gdv.de/presseservice/14917.htm [2003.06.25].

GDV (2000b). *Versicherer kritisieren Fahrtechnikkurse*. Pressemitteilung vom 01.08.2000. [html-

Dokument]. Verfügbar unter: http://www.gdv.de/presseservice/14784.htm [2003.06.25].

GDV (2003). *EUSka. Das Software-Paket für die zeitgemäße Verkehrssicherheitsarbeit.* [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.gdv-isk.de/downloads/EuSka-Flyer.pdf [2003.07.07].

Geiselman, R. E. & Fisher, R. P. (1989). The cognitive interview technique for victims and witnesses of crime. In D. Raskin (Ed.), *Psychological Methods in Criminal Investigation and Evidence*. New York: Springer.

Gietinger, K. (2003). Der Tod hat einen Motor. *Die Zeit, 4/2003*, S. 27.

Gwehenberger, J. (2003). *Arbeitskreis V: Unfalldatenschreiber*. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.gdv.de/presseservice/20896.htm [2004.05.18].

Hacker, W. (1998). *Allgemeine Arbeitspsychologie*. Bern: Huber.

Hale, A. R., Stoop, J. & Hommels, J. (1990). Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport systems. *Ergonomics, 33* (10/11), 1377-1387.

Haller, R. (2001). Fahrer-Assistenz versus Fahrer-Bevormundung: Wie erreicht man, dass der Fahrer Herr der Situation bleibt? In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung*. Berlin: Springer.

Hamzaoui, N. & Whitten, P. (2001). *Todesursachen bei jungen Menschen von 15 bis 24 Jahren, 1994/1997*. Hrsg.: Eurostat, Statistik kurz gefasst, Thema 3, 11/2001.

Hargutt, V. & Tietze, H. (2000). Einschlafen am Steuer: Erkennung und Gegenmaßnahmen. *BLICK 2/2000*. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.uni-wuerzburg.de/blick/2000-2/002d09.html [2003.06.26].

Hauer, E. & Cooper, P. J. (1977). Effectiveness of selective enforcement in reducing accidents in metropolitan Toronto. *Transportation Research Record*, No. 643, 1977, pp. 18-22.

Hautzinger, H., Tassaux-Becker, B. et al. (1996). *Verkehrsunfallrisiko in Deutschland. Verkehrsmobilität in Deutschland zu Beginn der 90er Jahre*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 58. Bergisch Gladbach.

Hilgard, E. R. & Loftus, E. F. (1979). Effective interrogation of the eyewitness. *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis. 27,* 342-357.

Hilse, H.-G. (1993). Bestandsaufnahme und Entwicklung aus Sicht der Polizei. In E. Lang & K. Arnold (Hrsg.), *Der Mensch im Straßenverkehr*. Stuttgart: Enke.

Hilse, H.-G. & Schneider, W. (Hrsg.) (1995). *Verkehrssicherheit. Handbuch zur Entwicklung von Konzepten*. Stuttgart: Boorberg.

Hoedemaeker, D. M. (1999). *Driving with intelligent vehicles. Driving behaviour with adaptive cruise control and the acceptance by individual drivers*. Delft: Delft University Press.

Hollenbach, M. (2001). *Intelligente Reifen*. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.dradio.de/cgi-bin/es/neu-patentes/87.html [2003.06.13].

Hoyos, C. (1980). *Psychologische Unfall- und Sicherheitsforschung*. Stuttgart: Kohlhammer.

Humphreys, M. (1981). The collection and analysis of in-depth road crash data. *Ergonomics, 24* (6), 423-435.

Hürlimann, F. W. (1985). Erleben und Risiko des Fahrers bei Nacht. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 31* (1), 13-16.

Institut für Umwelt und Verkehr (IVU) der Landesverkehrswacht Baden-Württemberg (Hrsg.) (2001). *Europäisches Verkehrssicherheitsprojekt Unfallprävention durch moderne Fahrzeugsicherheitstechnologie – Fahrdatenspeicher FDS und junge Fahrer*. Institut für Umwelt und Verkehr (IVU) der Landesverkehrswacht Baden-Württemberg. Stuttgart.

Janke, M. K. (1983). Accidents rates of drivers with biotopic telescopic lenses. *Journal of Safety Research, 14* (4), 159-165.

Jungermann, H. & Slovic, P. (1993a). Charakteristika individueller Risikowahrnehmung. In: Bayerische Rück (Hrsg.), *Risiko ist ein Konstrukt*. München: Knesebeck.

Jungermann, H. & Slovic, P. (1993b). Die Psychologie der Kognition und Evaluation von Risiko. In G. Bechmann (Hrsg.), *Risiko und Gesellschaft. Grundlagen und Ergebnisse interdisziplinärer Risikoforschung*. Opladen: Westdeutscher Verlag.

Kauer, F. & Hannawald, L. (2003). Metadatenanalyse und Darstellung von Aspekten zur Erhöhung der Verkehrssicherheit. In H. Brunner & H. Zwipp (Hrsg.), 1. Dresdner Tagung. Verkehrssicherheit interdisziplinär vom 27.-28. Juni 2003. Tagungsband (S. 67-88). Dresden: Eigenverlag.

Kemp, R. N., Nelson, G. C. et al. (1972). *A preliminary report on an on-the-spot-survey accidents*. Crowthorne: TRRL.

Klebelsberg, D. v. (1977). Das Modell der subjektiven und objektiven Sicherheit. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie, 4,* 285-294.

Koornstra, M. J. (1993). Influecing the road user by enforcement. In: Polizei-Führungsakademie: Verkehrssicherheit durch Verhaltensbeeinflussung – Ergebnisse internationaler Forschung und Praxis. *Internationale Arbeitstagung vom 24.-26. Februar 1993 bei der Polizei-Führungsakademie in Münster. Tagungsband*.

Kopischke, S. (2000). *Entwicklung einer Notbremsfunktion mit Rapid-Prototyping-Methoden*. Dis-

sertation am Institut für elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektronik, Technische Universität Braunschweig. Mainz: Günter.

Krüger, H.-P. (1995). *Das Unfallrisiko unter Alkohol*. Stuttgart: Fischer.

Krüger, H.-P. (2003). *Belastungen und Beanspruchungen bei Einsatzfahrten mit Inanspruchnahme von Sonder- und Wegerechten*. [doc-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.agbn.de/dokumente/sondersignale.doc [2003.11.26].

Lachenmayr, B., Buser, A. et al. (1996). *Sehstörungen als Unfallursache*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 65. Bergisch Gladbach.

Landström, U., Englund, B. et al. (1999). Sound exposure as a measure against drowsiness. *Ergonomics, 42* (7), 927-937.

Lewrenz, H. (1993). Grundlagen der medizinisch-psychologischen Beurteilung der Kraftfahreigung. In E. Lang & K. Arnold (Hrsg.), *Der Mensch im Straßenverkehr*. Stuttgart: Enke.

Malaterre, G. (1990). Error analysis and in-depth accident studies. *Ergonomics, 33* (10/11), 1403-1421.

Marbe, K. (1923). Über Unfallversicherung und Psychotechnik. *Praktische Psychologie, 4* (9), 257-264.

Marberger, C. & Wenzel, G. (2002). *System for effective assessment of driver vigilance and warning according to traffic risk estimation. D5.1 Driver Warning Concept*. Contract No. IST-2000-28062. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.awake-eu.org/pdf/awake_d5_1.pdf [2003.06.11].

Marshall, R. L. (1988). Unfallgeschehen und Verkehrssicherheitsarbeit in den Vereinigten Staaten von Amerika. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 34* (1), 2-15.

McGehee, D. V. & Dingus, T. A. (1992). The potential value of a front-to-rear-end collision warning system based on factors of driver behavior, visual perception, and brake reaction time. *Proceedings of the Human Factors Society 36th Annual Meeting*, pp. 1003-1005. Santa Monica, CA: Human Factors Society.

Menninger, K. (1935). Purposive accident as an experiment of self-destructive tendencies. *International Journal of Psycho-Analysis, 17,* 6-16.

Meewes, V. (1993). *Mobile und ortsfeste Geschwindigkeitsüberwachung – Auswirkungen auf Verhalten und Verkehrssicherheit*. Mitteilungen Nr. 34 der Beratungsstelle für Schadensverhütung des HUK-Verbandes. Köln.

Meewes, V. & Maier, R. (1995). Verkehrssicherheit und Straßengestaltung. In H.-G. Hilse & W. Schneider (Hrsg.), *Verkehrssicherheit. Handbuch zur Entwicklung von Konzepten*. Stutt-

gart: Boorberg.

Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans & R. C. Schwing (Hrsg.), *Human behavior and traffic safety*. New York: Plenum Press.

Mihal, W. L. & Barett, G. V. (1976). Individual differences in perceptual information processing and their relation to automobile accident involvement. *Journal of Applied Psychology, 62* (2), 229-233.

Mittenecker, E. (1962). *Methoden und Ergebnisse der psychologischen Unfallforschung*. Wien: Deuticke.

Molen, H. H. van der & Bötticher, A. M. T. (1988). A hierarchical risk-model for traffic participants. *Ergonomics, 31,* 537-555.

Näätänen, R. & Summala, H. (1974). A model for the role of motivational factors in drivers‘ decision-making. *Accident Analysis & Prevention, 3* (4), 243-261.

Nader, R. (1965). *Unsafe at any speed*. New York: Grossmann.

Net-Lexikon (2004). *Tempolimit. Definition, Bedeutung, Erklärung im Lexikon*. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.net-lexikon.de/Tempolimit.html [2004.05.12].

Nicodemus, S. (1995). Statistische Daten als Basis für die Erstellung von Verkehrssicherheitskonzepten. In H.-G. Hilse & W. Schneider (Hrsg.), Verkehrssicherheit. Handbuch zur Entwicklung von Konzepten. Stuttgart: Boorberg.

Norman, D. A. (1988).*The psychology of everyday things*. New York: Basic Books.

Norman, D. A. (1990). The ‘problem’ with automation: inappropriate feedback and interaction, not ‘over-automation’. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, B, 327, 585-593.

OECD (1990). *Behavioural adaptations to changes in the road transport system*. OECD expert group. Paris.

OECD (2000), *Road Safety Management and Implementation Strategies*. Organisation for Economic Cooperation and Development OECD, Paris.

Otte, D., Kühnel, A. et al. (1982). *Erhebungen am Unfallort*. Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.). Unfall- und Verkehrssicherheitsforschung Straßenverkehr. Heft 37. Köln.

Perchonok, K. (1978). *Identification of specific problems and countermeasures targets for reducing alcohol related casualities*. Calspan Field Services, Inc., Buffalo, New York, Perf. for the U.S. Dept. of Transportation, Contr. No. DOT-HS-4-00945.

Perel, M. (1976). *Analyzing the role of driver/vehicle incompatibilities in accident causation using police reports*. DOT-HS-801-858. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

Perel, M. (1988). *An analysis of pedal-related accidents using police narratives*. Office of Crash Avoidance Research: National Highway Traffic Safety Administration.

Pfafferott, I. (1989). Untersuchungsergebnisse und psychologische Überlegungen zur Einführung von Zonen-Geschwindigkeitsbeschränkungen. In S. Höfling & W. Butollo (Hrsg.), *Psychologie für Menschenwürde und Lebensqualität*. München: Deutscher Psychologie Verlag.

Pfafferott, I. & Huguenin, D. (1991). Adaptation nach Einführung von Sicherheitsmaßnahmen – Ergebnisse und Schlußfolgerungen aus einer OECD-Studie. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 73* (1), 71-83.

Pfafferott, I. (1992). Die Risikospirale. Warum technische Sicherheitsverbesserungen nicht unbedingt zu weniger Unfällen führen. *INTRA Psychologie und Gesellschaft, 3* (11), 38-43.

Popper, K. R. (1966). *Logik der Forschung*. Tübingen: Mohr.

Pund, B. & Nickel, W. R. (1994). *Psychologische Untersuchungen am Unfallort. Methodenstudie*. Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.). Heft M27. Bergisch Gladbach.

Rasmussen, J. (1982). Human errors: A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations. *Journal of Occupational Accidents, 4,* 311-333.

Rasmussen, J. (1983). Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols and other distructions in human performance models. *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*. Vd. SMC – 13, 257-266.

Reason, J. (1988). Frameworks of human performance and error: a consumers guide. In L. P. Goodstein, H. Andersen & S. E. Olsen (Eds.), *Tasks, errors and mental models.* London: Taylor and Francis.

Reason, J. (1990). *Human error*. New York. Cambridge University Press.

Reason, J., Menstead, A. et al. (1990). Errors and violations on the roads: a real distinction? *Ergonomics, 33* (10/11), 1315-1332.

Reason, J. (1994). *Menschliches Versagen: Psychologische Risikofaktoren und moderne Technologien*. Heidelberg: Spektrum.

Reichart, G. & Haller, R. (1995). Mehr aktive Sicherheit durch neue Systeme für Fahrzeug und Straßenverkehr. In W. Fastenmeier (Hrsg.), *Autofahrer und Verkehrssituation: Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. Köln: TÜV Rheinland.

Renn, O. & Zwick, M. (1997). *Risiko- und Technikakzeptanz*. Heidelberg: Springer-Verlag.

Robertson, M. D. & Drummer, O. H. (1994). Responsibility analysis: A methodology to study the effects of drugs in driving. *Accident Analysis and Prevention, 26* (2), 243-247.

Rumar, K. (1990). The basic driver error: late detection. *Ergonomics, 33* (10/11), 1281-1290.

Ruprecht, K. W. (1993). Sehvermögen und Kraftfahreignung. In E. Lang & K. Arnold (Hrsg.), *Der Mensch im Straßenverkehr*. Stuttgart: Enke.

Sachs, L. (1999) *Angewandte Statistik*. Berlin: Springer.

Salusjärvi, M. (1989). *Road accident investigation teams. Developing the on-the-spot, in-depth, case-study methodology*. Espoo 1989, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Tutkimuksia – Statens tekniska forskningscentral, Forskningsrapporter – Technical Research Centre of Finland, Research Reports 617. 125p.

Sarter, N. B., Woods, D. D. et al. (1997). Automation surprises. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics*. 2nd Ed. New York: J. Wiley & Sons.

Scheunemann, W. (2004). Der siebte Sinn. Von Elefantengängen und Verkehrszeichenerkennern. *c't , 17*, 74-79.

Schneider, W. (1977). Psychische Ursachen und Hintergrundbedingungen bei Unfallverläufen. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 23* (4), 140-145.

Schneider, W. (1995). Möglichkeiten und Grenzen der Verkehrssicherheitsarbeit. In H.-G. Hilse & W. Schneider (Hrsg.), Verkehrssicherheit. Handbuch zur Entwicklung von Konzepten. Stuttgart: Boorberg.

Schneider, W. (1995). Anwendung von Forschungsergebnissen und Erkenntnissen über Risiken und Defizite. In H.-G. Hilse & W. Schneider (Hrsg.), Verkehrssicherheit. Handbuch zur Entwicklung von Konzepten. Stuttgart: Boorberg.

Schuh, H. (2001). Uta ist die Schnellste. *Die Zeit, 38/2001*.

Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) (1999). *Sicherheit für alle. Handbuch der Sicherheitsarbeit*. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://shop.bfu.ch/pdf/699_48.pdf [2004.05.19]

Sellen, A. J., Kurtenbach, G. P. & Buxton, W. A. (1993). An empirical evaluation of some articulatory and cognitive aspects of making menues. *Human Computer Interaction, 8* (1), 1-23.

Sheridan, T. B. (1992). *Telerobotics, automation and human supervisory control*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Shinar, D., McDonald, S. T. & Treat, J. R. (1978). The interaction between driver mental and physi-

cal conditions and errors causing traffic accidents: An analytical approach. *Journal of Safety Research, 1* (10), 16-23.

Smith, H. W. & Popham R. E. (1951). Blood alcohol levels in relation to driving. *Canad. Med. Assn. J., 65,* 325-328.

Stutts, J. C., Reinfurt, D. W. et al. (2001). *The role of driver distraction in traffic crashes*. AAA Foundation for Traffic Safety (Hrsg.), Washington, DC 20005, 202/638-5944. [pdf-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.aaafts.org/pdf/distraction.pdf [2002.06.24].

Theis, F., Bautier, Ph. et al. (2000). *Verkehrssicherheit in der EU. Fast 43000 Todesopfer im Straßenverkehr 1998*. Hrsg.: Eurostat-Pressestelle. Pressemitteilung Nr. 76/2000, 6. Juli 2000.

Terhune, K. W. (1982). *The role of alcohol, marijuana and other drugs in the accidents of injured drivers*. Calspan Field Services, Inc., Buffalo, New York, Perf. for the U.S. Dept. of Transportation, Contr. No. DOT-HS-5-01179.

Terhune, K. W. (1983). An evaluation of responsibility analysis for assessing alcohol and drug crash effects. *Accident Analysis and Prevention, 15* (3), 237-246.

Treat, J. R., Tumbas, N. S. et al. (1977). Tri-level study of traffic accidents. DOT-HS-034-535-77-TAC(1). Institute for Resarch in Public Safety. Bloomington, IN: Indiana University.

Treeck, B. van (2002). *Drogen. Alles über Drogen und Drogenwirkung, Prävention und Strafverfolgung, Beratung und Therapie*. Berlin: Schwarzkopf & Schwarzkopf.

Undeutsch, U. (1962). *Ergebnisse psychologischer Untersuchungen am Unfallort*. Brandt, L. (Hrsg.). Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen. Opladen: Westdeutscher Verlag.

Undeutsch, U. (1977). Persönlichkeit und Vorkommenshäufigkeit der „Unfäller" unter den Kraftfahrern. In G. Kroj & W. Schneider (Hrsg.), *Psychologische Impulse für die Verkehrssicherheit. Beiträge von Udo Undeutsch*. Köln: TÜV Rheinland.

VDI nachrichten (2002). Pannenlaufsysteme wichtiger als Internetanschluss. Auto: Erhöhung der Sicherheit interessiert Fahrer am meisten. *VDI nachrichten* vom 05.07.2002, S. 24.

Vollrath, M, Meilinger, T. & Krüger, H.-P. (2002). How the presence of passengers influences the risk of a collision with another vehicle. *Accident Analysis and Prevention, 34,* 649-654.

Wickens, Ch. D. (1992). *Engineering psychology and human performance*. Second Edition. New York: HarperCollins Publishers Inc.

Wiegmann, D. A. & Shapell, S. A. (1997). Human factors analysis of postaccident data: Applying theoretical taxonomies of human error. *The International Journal of Aviation Psychology, 7* (1), 67-81. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

Wierwille, W. W. (1991). Driver error in using automotive pedals. In G. A. Peters & B. J. Peters (Eds.), *Automotive Engineering and Litigation*. New York: John Wiley & Sons.

Wierwille, W. W., Lewin, M. & Fairbanks, R. (1996). *Research on vehicle-based driver status/performance monitoring*. Abstract of the final report of DOT HS – 808 640. Virginia Polytechnic Inst. and State Univ., Blacksburg, Vehicle Analysis and Simulation Lab.

Wierwille, W. W. & Tijerina, L. (1995). Eine Analyse von Unfallberichten als ein Mittel zur Bestimmung von Problemen, die durch die Verteilung der visuellen Aufmerksamkeit und der visuellen Belastung innerhalb des Fahrzeugs verursacht wird. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 41,* 164-168.

Wilde, G. J. S. (1982). The theory of risk homeostasis: Implications for safety and health. *Risk Analysis, 4,* 209-225.

Wördenweber, B., Lachmayer, R. & Witt, U. (1996). Intelligente Frontbeleuchtung. *ATZ Automobiltechnische Zeitschrift, 98* (10), 546-551.

Wüst, Ch. (2000). Sanfter Griff ins Lenkrad. *Der Spiegel,* 52/2000, S. 172 f.

Wüst, Ch. (2003). Alarm vom Augenlid. *Der Spiegel,* 1/2003. [html-Dokument]. Verfügbar unter: http://www.spiegel.de/spiegel/0,1518,228738,00.html [2003.01.02].

Yerkes, R. M. & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-information. *Journal of Comparative and Neurological Psychology, 18,* 459-482.

Zimmer, A. & Dahmen-Zimmer, K. (1997). *Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 78. Bergisch Gladbach.

Zimmer, A. (2001). Wie intelligent darf/muss ein Auto sein? Anmerkungen aus ingenieurspsychologischer Sicht. In T. Jürgensohn & K.-P. Timpe (Hrsg.), *Kraftfahrzeugführung*. Berlin: Springer.

9 Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabellen

Abbildungen

10 Anhang

Anhang A Allgemeine erfasste Daten

Variable	Hier-archie	Ausprägung
Unfall-Nummer	1	Code
Personen-Nummer	1	Code
Unfalldatum	1	Datum
Unfallzeit	1	Uhrzeit
Datum der Unfallmeldung	1	Datum
Uhrzeit der Unfallmeldung	1	Uhrzeit
Datum des Interviews	1	Datum
Uhrzeit des Interviews	1	Uhrzeit
Alter des Fahrers	1	Zahl
Geschlecht des Fahrers	1	männlich / weiblich
Fahrzeugart	1	Pkw / Lkw / Bus / Landwirtschaftliche Zugmaschine / selbstfahrende Maschine / Fahrrad / motorisiertes Zweirad / Schienenfahrzeug / militärisches Sonderfahrzeug
Fahrzeughersteller	1	Freitext
Fahrzeug-Typ	1	Freitext
Baujahr des Fahrzeugs	1	Zahl
Unfalltyp nach Unfalltypenkatalog des ISK	1	Code

Anhang B Ohne Interview erfasste Daten und Bewertungen des Raters: Fehleranalyse

Variable	**Hierarchie**	**Ausprägung**
Mechanischer oder struktureller Fehler	1	Ja / Nein
Informationsfehler	1	Ja / Nein
Diagnosefehler	1	Ja / Nein
Zielsetzungsfehler	1	Ja / Nein
Methodenfehler	1	Ja / Nein
Handlungsfehler	1	Ja / Nein
Bedienungsfehler	1	Ja / Nein
Verstoß	1	Ja / Nein
Art des Verstoßes	2	Freitext

Anhang C Ohne Interview erfasste Daten und Bewertungen des Raters: Wirkungsfeld für Fahrerassistenzsysteme

Variable	**Hier-archie**	**Ausprägung**
Automatische Notbremse	1	Ja / Nein
Adaptive Cruise Control	1	Ja / Nein
Lane Departure Warning	1	Ja / Nein
Verkehrszeichenerkennung	1	Ja / Nein
Fußgängererkennung	1	Ja / Nein
Spurwechselassistent	1	Ja / Nein
Aufmerksamkeitskontrolle	1	Ja / Nein
Night Vision	1	Ja / Nein
Adaptives Kurvenlicht	1	Ja / Nein

Anhang D Ohne Interview erfasste Daten und Bewertungen des Raters: Sonstige Variablen

Variable	Hier-archie	Ausprägung	Bemerkung
Unfallverursachung (Angaben aus der Verkehrsunfallanzeige)	1	Verursacher / Beteiligter	
Zulässige Höchstgeschwindigkeit	1	Zahl	Ergänzung zu den Variablen der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit (siehe Anhang I)
Objektive Geschwindigkeit (Angaben von Polizei / Gutachter / Techniker)	1	Zahl	Ergänzung zu „Subjektive Geschwindigkeit“ (siehe Anhang I)
Objektive Angemessenheit der Geschwindigkeit (Beurteilung des Raters unter Berücksichtigung von Witterungsbedingungen, Fahrbahnbeschaffenheit, Straßenführung, Verkehrssituation und Daten aus der technischen Unfallrekonstruktion)	1	viel zu langsam / zu langsam / genau richtig / zu schnell / viel zu schnell	Ergänzung zur Variable „Subjektive Angemessenheit der Geschwindigkeit“ (siehe Anhang I)
Beurteilung, inwieweit Geschwindigkeitsadaptation	1	Ja / Nein / möglicherweise	Ergänzung zu den Variablen „Geschwindigkeitsänderung“ und „Vorausgehende Geschwindigkeit“ (siehe Anhang I)
Fahrbahnbeschaffenheit (Angabe in Verkehrsunfallanzeige)	1	trocken / feucht / nass / Raureif / Eis / Schnee / Sonstiges	Ergänzung zur Variable „Subjektive Beurteilung der Fahrbahnbeschaffenheit“
Beurteilung des Raters, inwieweit Reaktion des Fahrers angemessen	1	Freitext	Ergänzung zur Fahrerauskunft „Angemessenheit der Lenkreaktion“ und „Angemessenheit der Bremsreaktion“ (siehe Anhang J)
Gemessener Atemalkoholgehalt (AAK); Angabe in Verkehrsunfallanzeige)	1	Zahl	

Gemessener Blutalkoholgehalt (BAK); Angabe in Verkehrsunfallanzeige)	1	Zahl	Ergänzung zur Variable „Subjektiver BAK-Wert“ (siehe Anhang G)
Beurteilung des Raters, wie stark Sichtbehinderung durch Witterung war	1	Freitext	Ergänzung zur Fahrerauskunft „Sichtbehinderung durch Witterung“ (siehe Anhang F)
Objektive Übersichtlichkeit der Unfallstelle	1	gut übersichtlich / mittel übersichtlich / unübersichtlich	Ergänzung zur Variable „Subjektive Übersichtlichkeit der Unfallstelle“ (siehe Anhang F)
Sichtverdeckung	1	Ja / Nein	Ergänzung zur Variable „Subjektive Übersichtlichkeit der Unfallstelle“ (siehe Anhang F)
Ursache für Sichtverdeckung	1	Freitext	
Ablenkung durch Reiz außerhalb des Fahrzeugs	1	Ja / Nein	Zusammenfassung mehrerer Variablen zur Ablenkung durch Objekte außerhalb des Fahrzeugs (siehe Anhang H)
Ablenkung durch Reiz innerhalb des Fahrzeugs	1	Ja / Nein	Zusammenfassung mehrerer Variablen zur Ablenkung durch Objekte innerhalb des Fahrzeugs (siehe Anhang H)

Anhang E Fragen zum Unfallhergang

Variable	Hierarchie	Frage	Ausprägung
Unfallhergang	1	Wie ist der Unfall passiert?	Freitext (ausführlicher Bericht des Unfallhergangs)
Precrash-Phase	1	Bitte versuchen Sie, sich an die letzten Sekunden vor dem Unfall zu erinnern! Was haben Sie da gemacht? Was haben Sie gedacht? Wo haben Sie hingesehen? Was haben Sie gehört?	Freitext
Eingriffsmöglichkeit vorhanden	1	Glauben Sie, dass Sie prinzipiell die Möglichkeit gehabt hätten, durch Ihr eigenes Handeln während der Fahrt den Unfall zu verhindern?	Ja / Nein
Art der Eingriffsmöglichkeit	2	Wie hätte der Unfall verhindert werden können?	Freitext
Information wahrgenommen	1	Haben Sie irgendwelche Informationen wahrgenommen, die die Gefahrensituation angekündigt haben?	Ja / Nein
Art der wahrgenommenen Information	2	Welche?	Freitext
Reaktionszeit	2	Wie lange war der Unfallgegner / Hindernis im Blickfeld, bevor Sie reagiert haben?	Zahl
Entgangene Information	1	Wissen Sie jetzt im Nachhinein, ob Sie Informationen, die die Gefahr angekündigt haben, nicht wahrgenommen haben? Wenn ja, welche?	Freitext
Diagnose	1	Was haben Sie gedacht, nachdem Sie die Informationen wahrgenommen hatten?	Freitext
Zielsetzung	1	Was haben Sie gedacht, was Sie jetzt tun müssen? Was war Ihr Ziel?	Freitext
Auswahl der Vorgehensweise	1	Was haben Sie gedacht, wie Sie konkret handeln müssen?	Freitext

Ausgeführte Handlung	1	Wie haben Sie (tatsächlich) reagiert?	Freitext
Bedienung	1	Ist bei der Bedienung des Fahrzeugs (der Bedienelemente, der Instrumentierung) irgendein Fehler aufgetreten?	Ja / Nein
Art des Fehlers bei Bedienung	2	Was ging schief?	Freitext
Fehler anderer Verkehrsteilnehmer	1	Glauben Sie, dass Fehler anderer Verkehrsteilnehmer den Unfall mit verursacht haben?	Ja / Nein
Art der Fehler anderer Verkehrsteilnehmer	2	Was glauben Sie, welche Fehler sich bei den anderen Unfallbeteiligten ereignet haben?	Freitext

Anhang F Fragen zum Themenbereich „Wahrnehmung“

Variable	Hierarchie	Frage	Ausprägung
Abblendlicht	1	War das Abblendlicht eingeschaltet?	Ja / Nein
Lichtverhältnisse	1	Wie waren die Lichtverhältnisse zum Zeitpunkt des Unfalls?	Tageslicht / Dämmerung / Dunkelheit
Fernlicht	2	War das Fernlicht eingeschaltet?	Ja / Nein
Nachtblindheit	2	Bereitet Ihnen das Sehen bei schwachen Lichtverhältnissen große Schwierigkeiten?	Ja / Nein
Straßenbeleuchtung vorhanden	2	War eine Straßenbeleuchtung vorhanden?	Ja / Nein
Straßenbeleuchtung ein	3	War sie eingeschaltet?	Ja / Nein
Sichtbehinderung durch Witterung	1	War Ihre Sicht durch die Witterung beeinträchtigt?	Ja / Nein
Art der Sichtbehinderung durch Witterung	2	Wodurch und wie stark wurde Ihre Sicht durch die Witterung beeinträchtigt?	
Sichtbehinderung durch Regen	2	Sichtbehinderung durch Regen	gar nicht / leicht / mittel / stark
Sichtbehinderung durch Hagel	2	Sichtbehinderung durch Hagel	gar nicht / leicht / mittel / stark
Sichtbehinderung durch Schnee	2	Sichtbehinderung durch Schnee	gar nicht / leicht / mittel / stark
Sichtbehinderung durch Nebel	2	Sichtbehinderung durch Nebel	gar nicht / leicht / mittel / stark
Sichtbehinderung durch Sonstiges	2	Sichtbehinderung durch Sonstiges	gar nicht / leicht / mittel / stark
Scheibenwischer ein	1	War der Scheibenwischer in Betrieb?	Ja / Nein
Funktion Scheibenwischer	2	Funktionierte der Scheibenwischer einwandfrei?	Ja / Nein
Lichtdurchlässigkeit der Scheiben	1	Sind an Ihrem Fahrzeug Scheiben getönt oder mit Folie überzogen?	Ja / Nein

Lichtdurchlässigkeit der Windschutzscheibe	2	Windschutzscheibe	getönt / mit Folie überzogen
Lichtdurchlässigkeit der vorderen Seitenfenster	2	Seitenfenster vorne	getönt / mit Folie überzogen
Lichtdurchlässigkeit der hinteren Seitenfenster	2	Seitenfenster hinten	getönt / mit Folie überzogen
Lichtdurchlässigkeit der Heckscheibe	2	Heckscheibe	getönt / mit Folie überzogen
Beschädigung der Scheiben	1	Waren vor dem Unfall Scheiben beschädigt?	Ja / Nein
Beschädigung der Windschutzscheibe	2	Windschutzscheibe beschädigt?	Ja / Nein
Beschädigungsart der Windschutzscheibe	3	Art der Beschädigung	Freitext
Beschädigung der Seitenscheiben vorne	2	Seitenscheiben vorne beschädigt?	Ja / Nein
Beschädigungsart der Seitenscheiben vorne	3	Art der Beschädigung	Freitext
Beschädigung der Seitenscheiben hinten	2	Seitenscheiben hinten beschädigt?	Ja / Nein
Beschädigungsart der Seitenscheiben hinten	3	Art der Beschädigung	Freitext
Beschädigung der Heckscheibe	2	Heckscheibe beschädigt?	Ja / Nein
Beschädigungsart der Heckscheibe	3	Art der Beschädigung	Freitext
Verschmutzung der Scheiben	1	Waren vor dem Unfall Scheiben verschmutzt?	Ja / Nein
Verschmutzung der Frontscheibe	2	Frontscheibe verschmutzt?	gar nicht / leicht / mittel / stark
Verschmutzung der Seitenfenster vorne	2	Seitenfenster vorne verschmutzt?	gar nicht / leicht / mittel / stark
Verschmutzung der Seitenfenster hinten	2	Seitenfenster hinten verschmutzt?	gar nicht / leicht / mittel / stark

Verschmutzung der Heckscheibe	2	Heckscheibe verschmutzt?	gar nicht / leicht / mittel / stark
Beschlag der Scheiben	1	Waren kurz vor dem Unfall Scheiben beschlagen?	Ja / Nein
Beschlag der Frontscheibe	2	Frontscheibe beschlagen?	gar nicht / leicht / mittel / stark
Beschlag der Seitenfenster vorne	2	Seitenfenster vorne beschlagen?	gar nicht / leicht / mittel / stark
Beschlag der Seitenfenster hinten	2	Seitenfenster hinten beschlagen?	gar nicht / leicht / mittel / stark
Beschlag der Heckscheibe	2	Heckscheibe beschlagen?	gar nicht / leicht / mittel / stark
Heckscheibenheizung ein	2	War die Heckscheibenheizung in Betrieb?	Ja / Nein
Funktion Heckscheibenheizung	3	Funktionierte die Enteisungsanlage einwandfrei?	Ja / Nein
Sichtbehinderung durch Gegenstände	1	War Ihre Sicht durch Gegenstände im Fahrzeug beeinträchtigt (z. B. durch Gegenstände an Innenspiegel oder Fenstern, Sonnenrollos, Gepäck usw.)?	Ja / Nein
Sichtbehinderung wodurch	2	Wodurch genau?	Freitext
Blendung	1	Wurden Sie kurz vor oder während des Unfalls geblendet?	Ja / Nein
Blendung durch direktes Sonnenlicht	2	Direktes Sonnenlicht	gar nicht / leicht / mittel / stark
Blendung durch Scheinwerfer eines entgegenkommenden Fahrzeugs	2	Scheinwerfer eines entgegenkommenden Fahrzeugs	gar nicht / leicht / mittel / stark
Blendung durch Sonnenlicht im Rückspiegel	2	Sonnenlicht im Rückspiegel	gar nicht / leicht / mittel / stark
Blendung durch Scheinwerfer eines hinteren Fahrzeugs im Rückspiegel	2	Scheinwerfer eines hinteren Fahrzeugs im Rückspiegel	gar nicht / leicht / mittel / stark

Blendung durch Sonstiges	2	Sonstiges	gar nicht / leicht / mittel / stark
Sonnenbrille	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall eine Sonnenbrille getragen?	Ja / Nein
Objekt im Auge	1	War Ihre Sicht kurz vor dem Unfall durch ein Objekt in oder über dem Auge / den Augen (z. B. Staubpartikel) beeinträchtigt?	Ja / Nein
Art des Objekts im Auge	2	Wodurch genau?	Freitext
Niesen	1	Mussten Sie kurz vor dem Unfall niesen?	Ja / Nein
Fehlsichtigkeit	1	Sind Sie kurz- oder weitsichtig?	Ja / Nein
Kurzsichtigkeit	2	Kurzsichtigkeit	Ja / Nein
Kurzsichtigkeit Dioptrinstärke links	2	Kurzsichtigkeit Dioptrin links	Zahl
Kurzsichtigkeit Dioptrinstärke rechts	2	Kurzsichtigkeit Dioptrin rechts	Zahl
Weitsichtigkeit	2	Weitsichtigkeit	Ja / Nein
Weitsichtigkeit Dioptrinstärke links	2	Weitsichtigkeit Dioptrin links	Zahl
Weitsichtigkeit Dioptrinstärke rechts	2	Weitsichtigkeit Dioptrin rechts	Zahl
Sehhilfe benutzt	2	Haben Sie eine Sehhilfe benutzt, als sich der Unfall ereignete?	Ja / Nein
Art der Sehhilfe	3	Welche Art von Sehhilfe haben Sie benutzt?	Sehbrille / Gleitsichtbrille / Kontaktlinsen / Sonstige
Erkennbarkeit des Fahrbahnverlaufs	1	Wie gut war der Verlauf der Fahrbahn erkennbar?	gut / mittel / schlecht
Markierung des Fahrbahnverlaufs	1	Wie gut war der Verlauf der Fahrbahn markiert?	gut / mittel / schlecht
Subjektive Übersichtlichkeit der Unfallstelle	1	Wie übersichtlich war die Unfallstelle?	gut übersichtlich / mittel übersichtlich / unübersichtlich

Grund für Unübersicht-lichkeit	2	Was hat die Sicht beeinträchtigt?	Freitext
Schwerhörigkeit	1	Sind Sie schwerhörig?	Ja / Nein
Hörgerätbesitz	2	Haben Sie ein Hörgerät?	Ja / Nein
Tragen des Hörgerätes	3	Haben Sie es vor dem Unfall getragen?	Ja / Nein
Hörgerätes ein	4	War es eingeschaltet?	Ja / Nein

Anhang G Fragen zum Themenbereich „Aufmerksamkeit allgemein“

Variable	Hier-archie	Frage	Ausprägung
Dauer der Arbeitszeit	1	(Falls beruflich unterwegs) Wie lang war vor dem Unfall Ihre Arbeitszeit in Stunden?	Zahl
Fahrdauer	1	Wie lange saßen Sie vor dem Unfall am Steuer?	Zahl
Pause gemacht	1	Haben Sie auf Ihrer Fahrt eine Pause eingelegt?	Ja / Nein
Dauer der Pause	2	Wie lange war die Pause?	Zahl
Zeitpunkt Pausenende	2	Wann war die Pause zu Ende?	Uhrzeit
Zeitdauer von Pausenende bis Unfall	1	Was war die Zeitdauer vom Pausenende bis zum Unfall?	Zahl
Subjektive Müdigkeit	1	Wie schätzen Sie Ihre Müdigkeit vor dem Unfall ein?	völlig wach / eher wach / eher müde / sehr müde
Gähnen	2	Haben Sie während der Fahrt gegähnt?	Ja / Nein
Anzahl Gähnen	3	Wie oft?	Zahl
Sekundenschlaf	2	Hatten Sie zum Unfallzeitpunkt bereits Phasen mit Sekundenschlaf hinter sich?	Ja / Nein
Schlafdauer	2	Wie lange hatten Sie die Nacht vor dem Unfall geschlafen?	Zahl
Wachdauer	2	Wie viel Zeit lag zwischen dem Aufstehen und dem Unfall?	Zahl
Koffein	1	Haben Sie vor dem Unfall Kaffee oder andere anregende Getränke getrunken?	Ja / Nein
Koffeinart	2	Welches Getränk?	Kaffe / Cappuccino bzw. Milchkaffee / Espresso / löslicher Pulverkaffee / Tee / Cola

Koffeinmenge	2	Welche Menge?	Zahl
Zeitdauer von Koffein-konsum bis Unfall	2	Wie lange vor dem Unfall?	Zahl
Alkoholkonsum	1	Haben Sie vor dem Unfall Alkohol ge-trunken?	Ja / Nein
Subjektiver BAK-Wert	2	Wie hoch schätzen Sie Ihren Blutalko-holgehalt?	Zahl
Subjektive Beeinträch-tigung durch Alkohol	2	Was schätzen Sie, wie stark der Alko-hol Ihre Fahrtüchtigkeit beeinträchtigt hat?	gar nicht beeinträchtigt / etwas beeinträchtigt / deutlich beeinträchtigt / stark beeinträchtigt
Konzentration auf Fah-ren		Wie stark haben Sie sich auf das Fah-ren konzentriert, bevor sich der Unfall ereignete?	stark konzentriert (nur auf das Fahren / kon-zentriert (überwiegend auf das Fahren) / weni-ger konzentriert (stark mit anderen Dingen beschäftigt) / nicht kon-zentriert
Grund des Konzentra-tionsmangels	2	Woran haben Sie gedacht?	Freitext
Emotion	1	In welcher gefühlsmäßigen Verfassung waren Sie, bevor sich der Unfall ereig-nete?	Freitext

Anhang H Fragen zum Themenbereich „Aufmerksamkeit / Ablenkung“

Variable	Hier-archie	Frage	Ausprägung
Verkehrsdichte	1	Wie dicht war der Verkehr vor dem Unfall?	kein Verkehr / wenig Verkehr / mittelmäßig / viel Verkehr
Objekte außerhalb des Fahrzeugs	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf irgendwelche Objekte (z. B. Fahrzeuge, Schilder, Ampeln) außerhalb des Fahrzeugs geachtet?	Ja / Nein
Art der Objekte außerhalb des Fahrzeugs	2	Worauf genau?	Freitext
Objekte im Rückspiegel	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall im Rückspiegel irgendwelche Objekte (z. B. Fahrzeuge, Fußgänger, Tiere) beobachtet, die sich außerhalb des Fahrzeugs befanden?	Ja / Nein
Art der Objekte im Rückspiegel	2	Was haben Sie beobachtet?	Freitext
Objekte im Außenspiegel	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall in einem Außenspiegel irgendwelche Objekte (z. B. Fahrzeuge, Fußgänger, Tiere) beobachtet, die sich außerhalb des Fahrzeug befanden?	Ja / Nein
Art der Objekte im Außenspiegel	2	Was haben Sie beobachtet?	Freitext
Toter Winkel	1	Falls Fahrzeug im toten Winkel oder Rückraum nicht gesehen: Wo war das Gegner-Fahrzeug? (Codierung: Ziffernblatt einer Uhr)	Zahl
Abstand Fahrzeug im Toten Winkel	2	Wie groß schätzen Sie den Abstand zwischen diesem Fahrzeug und ihrem?	Zahl
Außenspiegel eingestellt	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall den Rückspiegel oder einen Außenspiegel eingestellt?	Ja / Nein

Sicherheitsgurt gesucht	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall nach dem Sicherheitsgurt gesucht?	Ja / Nein
Sicherheitsgurt gelöst	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall den Sicherheitsgurt gelöst?	Ja / Nein
Sicherheitsgurt geschlossen	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall den Sicherheitsgurt geschlossen?	Ja / Nein
Sicherheitsgurt justiert	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall den Sicherheitsgurt justiert?	Ja / Nein
Zum Sitz gesehen	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall nach unten zum Sitz gesehen?	Ja / Nein
Sitz eingestellt	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall den Sitz eingestellt?	Ja / Nein
Sonnenblende eingestellt	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall die Sonnenblende eingestellt?	Ja / Nein
Fensterheber bedient	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall die Fensterheber bedient?	Ja / Nein
Tacho	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf den Tacho gesehen?	Ja / Nein
Fernlichtanzeige	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf die Fernlichtanzeige gesehen?	Ja / Nein
Abblendlichtschalter	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf den Abblendlichtschalter oder dessen Anzeige gesehen?	Ja / Nein
Drehzahlmesser	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf den Drehzahlmesser gesehen?	Ja / Nein
Tankanzeige	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf die Tankanzeige gesehen?	Ja / Nein
Öldruckanzeige	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf die Öldruckanzeige gesehen?	Ja / Nein
Uhr am Armaturenbrett	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf die Uhr am Armaturenbrett gesehen?	Ja / Nein
Automatikgetriebe vorhanden	1	Besitzt Ihr Fahrzeug ein Automatikgetriebe?	Ja / Nein
Kupplung betätigt	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall die Kupplung betätigt?	Ja / Nein

Schalthebel	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall den Schalthebel betätigt?	Ja / Nein
Heckscheibenheizung bedient	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall Einstellungen an der Heckscheibenheizung vorgenommen?	Ja / Nein
Lüftungsanlage bedient	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall Einstellungen an der Lüftungsanlage (inkl. Lüftungsdüsen) vorgenommen?	Ja / Nein
Klimaanlage bedient	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall Einstellungen an der Klimaanlage vorgenommen?	Ja / Nein
Heizung bedient	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall Einstellungen an der Heizung vorgenommen?	Ja / Nein
Scheibenwischer bedient	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall die Scheibenwischer oder die Scheibenwaschanlage bedient?	Ja / Nein
Innenbeleuchtung bedient	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall die Innenbeleuchtung ein- oder ausgeschaltet?	Ja / Nein
Handschuhfach bedient	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall das Handschuhfach bedient?	Ja / Nein
Handy dabei	1	Haben Sie zum Zeitpunkt des Unfalls ein Handy mit sich geführt?	Ja / Nein
Autotelefon vorhanden	1	Ist in Ihrem Fahrzeug ein Auto-Telefon vorhanden?	Ja / Nein
Ort des Telefons	2	Wo ist das Telefon im Fahrzeug angeordnet?	Freitext
Telefon / Handy geläutet	2	Hat kurz vor dem Unfall das Telefon / Handy geläutet?	Ja / Nein
Nummer gewählt	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall eine Nummer gewählt?	Ja / Nein
Handy gesucht	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall das Handy gesucht?	Ja / Nein
Telefon / Handy bedient	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall das Telefon / Handy bedient?	Ja / Nein

Art der Bedienung	3	Art der Bedienung	Tippen am Gerät / Lenkradbedienung / zentrale Bedien-einrichtung / Sprach-bedienung
Telefoniert	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall telefo-niert?	Ja / Nein
Freisprecheinrichtung vorhanden	3	Ist eine Freisprecheinrichtung für Han-dy oder Autotelefon vorhanden?	Ja / Nein
Art der Freisprechein-richtung	4	Welche Art von Freisprecheinrichtung?	Freitext
Freisprecheinrichtung benutzt	4	Haben Sie die Freisprecheinrichtung benutzt?	Ja / Nein
Radio vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug ein Radio?	Ja / Nein
Radio ein- / ausge-schaltet	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall das Radio ein- oder ausgeschaltet?	Ja / Nein
Radio beobachtet	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall das Radio beobachtet?	Ja / Nein
Sender eingestellt	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall das Radio eingestellt (z. B. den Radiosen-der gewechselt, Lautstärke)?	Ja / Nein
Radio gehört	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall Radio gehört?	Ja / Nein
Lautstärke Radio	3	Wie laut?	leise / mittel / laut
Kassettenrecorder vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug einen Kassettenre-corder?	Ja / Nein
Kassette gewechselt	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall eine Kassette eingeschoben oder entfernt?	Ja / Nein
Kassettenrecorder bedient	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall den Kassettenrecorder bedient (z. B. Vor- oder Rücklauf, Lautstärke)?	Ja / Nein
Kassette gehört	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall eine Kassette gehört?	Ja / Nein
Lautstärke Kassette	3	Wie laut?	leise / mittel / laut
CD-Player vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug einen CD-Player?	Ja / Nein

CD gewechselt	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall eine CD eingeschoben oder entfernt?	Ja / Nein
CD-Player bedient	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall den CD-Player bedient (z. B. Titelanwahl, Lautstärke)?	Ja / Nein
CD-Wechsler	2	Ist Ihr CD-Player ein CD-Wechsler?	Ja / Nein
CD gehört	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall eine CD gehört?	Ja / Nein
Lautstärke CD	3	Wie laut?	leise / mittel / laut
Was gehört	2	Was haben Sie gehört? (z. B. Musik, Nachrichten, Verkehrsfunk, Informationsprogramm, usw.)	Musik / Nachrichten / Wetterbericht / Verkehrsfunk / Informationsprogramm / Unterhaltungsprogramm / Hörspiel / Sport / Werbung
Art der gehörten Musik	3	Welche Art von Musik?	Klassik / Jazz / Volksmusik / Pop / Rock / Heavy Metal / Rap / Hip-Hop / Techno / Reggae
Tempomat vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug einen Tempomaten (Geschwindigkeitsregelanlage)?	Ja / Nein
Tempomat ein	2	War er kurz vor dem Unfall eingeschaltet?	Ja / Nein
Mit Tempomat gefahren	3	Sind Sie mit aktiviertem Tempomat gefahren?	Ja / Nein
Einfluss Tempomat	4	Hat der Tempomat kurz vor dem Unfall eine Rolle gespielt?	Ja / Nein
Art des Einflusses des Tempomaten	5	Inwiefern?	Freitext
Navigationssystem vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug ein Navigationssystem?	Ja / Nein
Art des Navigationssystems	2	Welche Art von Navigationssystem (Möglichst genaue Bezeichnung, Art des Displays, Ort der Bedienvorrichtung, Spracheingabe, usw.)?	Freitext

Navigationssystem ein	2	War es während der Fahrt in Betrieb?	Ja / Nein
Navigationssystem angesehen	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf die Anzeige gesehen?	Ja / Nein
Navigationssystem bedient	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall das Navigationssystem bedient?	Ja / Nein
Akustische Meldung des Navigationssystems	2	Gab das Navigationssystem kurz vor dem Unfall eine akustische Meldung?	Ja / Nein
Fahrer-Informations-System vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug einen Bordcomputer (Fahrer-Informations-System)?	Ja / Nein
Fahrer-Informations-System bedient	2	Haben Sie es kurz vor dem Unfall bedient?	Ja / Nein
Sonstige Informations- und Unterhaltungselektronik vorhanden	1	Ist Ihr Fahrzeug mit sonstigen elektronischen Geräten ausgestattet, die der Unterhaltung oder der Information dienen und nichts mit Fahrzeug oder Verkehr zu tun haben (z. B. Fernseher, DVD-Player, Internet, E-Mail, SMS usw.)?	Ja / Nein
Art der Informations- und Unterhaltungselektronik	2	Mit welchen?	Freitext
Bedienung der Informations- und Unterhaltungselektronik	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf eines dieser Geräte gesehen, es bedient oder sich darauf konzentriert?	Ja / Nein
Art der Bedienung der Informations- und Unterhaltungselektronik	3	Was haben Sie genau gemacht?	Freitext
Personen im Fahrzeug	1	Befanden sich außer Ihnen sonst noch Personen im Fahrzeug?	Ja / Nein
Anzahl der Personen im Fahrzeug	2	Wie viele sonstige Personen befanden sich noch im Fahrzeug?	Zahl
Anzahl Lebensgefährte / Ehepartner	2	Lebensgefährte / Ehepartner	Zahl
Anzahl Freund / Freundin	2	Freund / Freundin	Zahl

Anzahl Bekannte(r)	2	Bekannte(r)	Zahl
Anzahl eigenes Kind	2	eigenes Kind	Zahl
Anzahl fremdes Kind	2	fremdes Kind	Zahl
Anzahl Verwandter außer eigenem Kind	2	Verwandter außer eigenem Kind	Zahl
Anzahl fremde Person	2	fremde Person	Zahl
Sitzposition der Personen	2	Wo saßen die Personen?	Freitext
Unterhaltung	2	Haben Sie sich kurz vor dem Unfall mit einer oder mehreren Personen im Fahrzeug unterhalten?	Ja / Nein
Modus der Unterhaltung	3	Haben Sie zugehört oder selbst gesprochen?	zugehört / selbst gesprochen
Art der Unterhaltung	3	Um welche Art von Unterhaltung handelte es sich (z. B. Streit, Diskussion)?	Freitext
Person angesehen	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall eine andere Person angesehen oder haben Sie diese beobachtet (z. B. auch über den Rückspiegel)?	Ja / Nein
Körperkontakt mit Person	2	Hatten Sie kurz vor dem Unfall Körperkontakt mit einer anderen Person?	Ja / Nein
Art des Körperkontaktes	3	Welche Art von Kontakt? Wo saß die andere Person?	Freitext
Tier im Auto	1	War kurz vor dem Unfall ein Tier im Auto?	Ja / Nein
Art des Tiers	2	Was für ein Tier war es?	Freitext
Position des Tiers	2	Wo war es?	Freitext
Beweglichkeit des Tiers	2	Konnte es sich innerhalb der Fahrgastzelle frei bewegen?	Ja / Nein
Tier angesehen	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall das Tier angesehen oder beobachtet (z. B. auch über den Rückspiegel)?	Ja / Nein
Kontakt mit dem Tier	2	Hatten Sie kurz vor dem Unfall Kontakt mit dem Tier (z. B. Streicheln, Weg-	Ja / Nein

		drängen)?	
Art des Kontakts mit dem Tier	3	Welche Art von Kontakt?	Freitext
Geräusche	1	Traten vor dem Unfall irgendwelche Geräusche auf, die Sie abgelenkt haben?	Ja / Nein
Art der Geräusche	2	Welche?	
Windgeräusche	1	Traten vor dem Unfall starker Wind und/oder Windgeräusche auf?	Ja / Nein
Ablenkung durch Windgeräusche	2	Wurden Sie dadurch abgelenkt?	Ja / Nein
Warnton	1	Haben Sie vor dem Unfall einen Warnton gehört (z. B. Tankanzeige, Reifendruckkontrolle usw.)?	Ja / Nein
Ablenkung durch Warnton	2	Wurden Sie dadurch abgelenkt?	Ja / Nein
Gerüche	1	Sind vor dem Unfall Gerüche von außen ins Fahrzeug eingedrungen (z. B. Lkw-Abgase, landwirtschaftlche Gerüche, usw.)?	Ja / Nein
Ablenkung durch Gerüche	2	Wurden Sie dadurch abgelenkt?	Ja / Nein
Karte angesehen	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf einen Stadtplan oder auf eine Landkarte gesehen?	Ja / Nein
Text gelesen	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall etwas gelesen (z. B. Text, Beschriftung)?	Ja / Nein
Art des Textes	2	Was genau?	Freitext
Essen	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall etwas gegessen?	Ja / Nein
Art des Essens	2	Was haben Sie gegessen?	Freitext
Essen in Hand	2	In welcher Hand haben Sie das Lebensmittel gehalten?	links / rechts
Essen aus- / eingepackt	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall Essen aus- oder eingepackt?	Ja / Nein

Getränk	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall etwas getrunken?	Ja / Nein
Getränk in Hand	2	In welcher Hand haben Sie das Getränk gehalten?	links / rechts
Trinkgefäß	2	Woraus haben Sie getrunken?	Dose / Becher / Glas / Flasche / Sonstiges
Strohhalm benutzt	2	Haben Sie beim Trinken einen Strohhalm benutzt?	Ja / Nein
Getränk aus- / eingepackt	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall ein Getränk aus- oder eingepackt, geöffnet oder verschlossen?	Ja / Nein
Geraucht	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall geraucht?	Ja / Nein
Zigarette in Hand	2	In welcher Hand haben Sie die Zigarette (o. Ä.) gehalten?	links / rechts
Zigarette angezündet	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall eine Zigarette o. Ä. angezündet oder es versucht?	Ja / Nein
Art des Anzündens	2	Womit?	Zigarettenanzünder im Auto / Feuerzeug / Streichhölzer
Insekt vorhanden	1	Befand sich kurz vor dem Unfall ein Insekt (oder Spinne) im Fahrzeug?	Ja / Nein
Art des Insekts	2	Was für ein Insekt?	Freitext
Insekt angesehen	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall auf das Insekt gesehen?	Ja / Nein
Insekt verscheucht	2	Haben Sie kurz vor dem Unfall versucht, das Insekt zu verscheuchen oder zu erschlagen?	Ja / Nein
Phobie / Allergie gegen Insekten	2	Haben Sie eine Phobie oder Allergie gegen Insekten (Spinnen, Bienen, Wespen)?	Ja / Nein
Art der Phobie / Allergie	3	Was genau?	Freitext

Objekt gesucht	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall irgendein Objekt im Fahrzeug gesucht?	Ja / Nein
Art des gesuchten Objekts	2	Was genau?	Freitext
Objekt angesehen	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall irgendein Objekt im Fahrzeug angesehen?	Ja / Nein
Art des angesehenen Objekts	2	Was genau?	Freitext
Objekt in der Hand gehabt?	1	Haben Sie kurz vor dem Unfall irgendein Objekt in der Hand gehabt?	Ja / Nein
Art des Objekts in der Hand	2	Was genau?	Freitext
Ablenkung durch Objekt	1	Sind Sie kurz vor dem Unfall durch irgendein Objekt im Fahrzeug abgelenkt worden?	Ja / Nein
Art des ablenkenden Objekts	2	Wodurch genau?	Freitext
Ablenkung durch loses Teil	2	Ablenkung durch (verrutschendes) loses Teil?	Ja / Nein

Anhang I Fragen zum Themenbereich „Kognition"

Variable	Hierarchie	Frage	Ausprägung
Zweck der Fahrt	1	Was war der Zweck der Fahrt?	Freitext
Bekanntheit der Strecke	1	Wie gut kannten Sie die Strecke, auf der sich der Unfall ereignete?	sehr gut / eher gut / eher schlecht / gar nicht
Orientierung notwendig	1	Waren Sie kurz vor dem Unfall damit beschäftigt, den richtigen Weg zu finden?	Ja / Nein
Art der Orientierung	2	Was haben Sie getan, um sich zu orientieren?	Freitext
Objekte zur Orientierung	2	Haben Sie nach bestimmten Dingen Ausschau gehalten, um sich zu orientieren?	Ja / Nein
Note Sicherheitsausstattung	1	Wenn Sie die Sicherheitsausstattung bei Ihrem Auto mit denen anderer Autos vergleichen: Welche Schulnote (von 1 bis 6) würden Sie der Sicherheitsausstattung geben?	sehr gut / gut / befriedigend / ausreichend / mangelhaft / ungenügend
Sicherheitsgefühl	1	Wie sicher fühlen Sie sich in Ihrem Auto?	sehr unsicher / eher unsicher / eher sicher / sehr sicher
Subjektive Geschwindigkeit	1	Was schätzen Sie, wie schnell Sie kurz vor dem Unfall gefahren sind?	Zahl
Subjektive Angemessenheit der Geschwindigkeit	1	Finden Sie, dass diese Geschwindigkeit grundsätzlich in dieser Situation angemessen war?	Ja / Nein
Subjektiv überhöhte Geschwindigkeit	1	Welche Geschwindigkeit wäre nicht mehr angemessen gewesen?	Zahl
Geschwindigkeitsänderung	1	Sind Sie vor den letzten Sekunden vor dem Unfall längere Zeit mit einer erheblich höheren oder niedrigeren Geschwindigkeit gefahren?	Ja / Nein
Vorausgehende Geschwindigkeit	2	Mit welcher Geschwindigkeit sind Sie davor gefahren?	Zahl

Grund für Geschwin-digkeitswechsel	2	Was war der Grund für den Geschwin-digkeitswechsel (z. B. von Autobahn abgefahren)?	Freitext
Warnschild / Verbots-schild vorhanden	1	Gab es vor der Unfallstelle ein Warn- oder Verbotsschild? (z. B. „Achtung Kurve!“ oder „Überholverbot“)	Ja / Nein
Art des Warnschildes / Verbotsschildes	2	Welches?	Freitext
Entfernung Schild – Unfallstelle	2	Wie viele Meter vor der Unfallstelle war das Schild?	Zahl
Subjektive Beurteilung der Fahrbahnbeschaf-fenheit	1	Wie schätzen Sie die Fahrbahnbeschaffenheit ein?	sehr gut / eher gut / eher schlecht / sehr schlecht
Dauer Führerschein-besitz	1	Wie lange besitzen Sie einen Führer-schein?	Zahl
Erfahrung mit benutz-tem Fahrzeug	1	Wie lange fahren Sie schon dieses Auto, mit dem sich der Unfall ereigne-te?	Zahl
Ehemaliges Fahrzeug	1	Welches Auto haben Sie davor gefah-ren?	Freitext
Fahrpraxis	1	Was schätzen Sie, wie viele Kilometer Sie in den letzten 12 Monaten gefahren sind?	Zahl
Subjektives eigenes Fahrkönnen	1	Welche Schulnote (von 1 bis 6) würden Sie Ihrem eigenen Fahrkönnen geben?	sehr gut / gut / befriedi-gend / ausreichend / mangelhaft / ungenü-gend
Subjektives Fahrkön-nen anderer Autofahrer	1	Welche Schulnote (von 1 bis 6) würden Sie dem Fahrkönnen der meisten ande-ren Autofahrer im Durchschnitt geben?	sehr gut / gut / befriedi-gend / ausreichend / mangelhaft / ungenü-gend
Fahrsicherheitstraining	1	Haben Sie einmal ein Fahrsicherheits-training absolviert?	Ja / Nein
Zeit seit Fahrsicher-heitstraining	2	Wie lange ist das her?	Zahl

Anhang J Fragen zum Themenbereich „Motorik“

Variable	Hier-archie	Frage	Ausprägung
Verlassen der Fahr-spur	1	Haben Sie kurz vor dem Unfallzeitpunkt die Fahrspur unbeabsichtigt verlassen?	Ja / Nein
Grund für Verlassen der Fahrspur	2	Was war der Grund?	Freitext
Angemessenheit der Lenkreaktion	1	Wie schätzen Sie die Angemessenheit Ihrer Lenkreaktion kurz vor dem Unfall ein?	gar nicht gelenkt / viel zu schwach / eher zu schwach / genau richtig / eher zu stark / viel zu stark
Angemessenheit der Bremsreaktion	1	Wie schätzen Sie die Angemessenheit Ihrer Bremsreaktion kurz vor dem Unfall ein?	gar nicht gebremst / viel zu schwach / eher zu schwach / genau richtig / eher zu stark / viel zu stark
Subjektiv bessere Re-aktionsweise	2	Wie hätte man besser reagieren sollen?	Freitext
Subjektive Panikreak-tion	1	Glauben Sie, dass Sie in Panik reagiert haben?	Ja / Nein
Händigkeit	1	Sind Sie Links- oder Rechtshänder?	Linkshänder / Rechts-händer
Position der Hände	1	Wo hatten Sie kurz vor dem Unfall Ihre Hände?	2 x Freitext
Position der Hände am Lenkrad	2	Stellen Sie sich vor, das Lenkrad wäre eine Uhr: Bei welchen Ziffern hatten Sie dann Ihre Hände?	2 x Zahl
Schuhart	1	Welche Art von Schuhen haben Sie während der Fahrt getragen?	Halbschuhe / Damen-schuhe / Pumps / Pla-teauschuhe / Stiefel / Stiefeletten / Turnschu-he / Wanderschuhe / Sandalen / Latschen / Pantoffel / Springerstie-fel / Gummistiefel / Sonstige / barfuß

Sohlenmaterial	1	Material der Sohle	Gummi / Leder / Sonstiges
Sohlenprofil	1	Sohlenprofil	mit Profil / ohne Profil
Absatzhöhe	1	Absatzhöhe	Zahl
Beweglichkeitseinschränkung	1	Waren Sie während der Fahrt in Ihrer Beweglichkeit irgendwie eingeschränkt (z. B. steifer Hals, Verbände)?	Ja / Nein
Grund der Beweglichkeitseinschränkung	2	Wodurch genau?	Freitext

Anhang K Fragen zum Themenbereich „Fahrzeug“

Variable	Hier-archie	Frage	Ausprägung
ABS vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug ABS (Anti-Blockier-System)?	Ja / Nein
ABS agiert	2	Hat ABS zum Unfallzeitpunkt agiert?	Ja / Nein
ACC vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug ACC (Automatic Cruise Control, Automatischer Abstandstempomat)?	Ja / Nein
ACC agiert	2	Hat ACC zum Unfallzeitpunkt agiert?	Ja / Nein
ASC vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug ASC (Automatische Stabilitätskontrolle, auch ASC +T oder Traktionskontrolle)?	Ja / Nein
ASC agiert	2	Hat ASC zum Unfallzeitpunkt agiert?	Ja / Nein
ESP vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm, auch PSM oder DSC)?	Ja / Nein
ESP agiert	2	Hat ESP zum Unfallzeitpunkt agiert?	Ja / Nein
Sonstiges Assistenz-system vorhanden	1	Hat Ihr Fahrzeug ein anderes Assis-tenzsystem?	Ja / Nein
Sonstiges Assistenz-system agiert	2	Hat dieses System zum Unfallzeitpunkt agiert?	Ja / Nein
Reaktion auf Eingrei-fen von Assistenzsys-tem	3	Falls ein System reagiert hat: Wie hat sich das Eingreifen des Systems geäu-ßert? Kannten Sie dieses Verhalten des Systems schon von früher? Wie haben Sie auf das Verhaltens des Systems reagiert?	Freitext
Vision Unfallvermei-dendes Fahrzeug	1	Stellen Sie sich ein perfektes, intelligen-tes, extrem sicheres Auto vor: Was müsste das Auto können, wie müsste es sich verhalten, damit so ein Unfall wie der in Ihrer Situation verhindert würde? (z. B. Warnsignale, welche Art von Warnungen genau (Warnlämp-chen, Warntöne, Vibrationen), automa-	Freitext

		tisches Eingreifen des Fahrzeugs in das Fahrgeschehen)	